

# **VAIHTEEN SÄHKÖISET LUMENSULATUSJÄRJESTELMÄT**

Mikko Korpela

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014  
Automaatioteknologia

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

# TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Automaatioteknologia

MIKKO KORPELA

Vaihteen sähköiset lumensulatusjärjestelmät

Opinnäytetyö 54 sivua  
Toukokuu 2014

---

Tämä tutkintotyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun ylemmän ammattikorkeakoulun koulutusohjelman ja VR Track Oy:n yhteistyössä.

Rautatievaihteiden lumensulatus on suurin rautatiejärjestelmän energiankulutusta. Jos sähkönkulutusta verrataan sähköisen junakaluston ja rautatiejärjestelmän kokonaisenergiankulutukseen, on vaihteiden lumensulatuksen osuus noin 10 %. Samaan aikaan lumen ja jään aiheuttamat ongelmat ovat nousseet merkittäväksi rautatieliikenteen myöhästelyjä aiheuttavaksi tekijäksi talvella. Tämän tutkintotyön tavoite on tarkastella tällä hetkellä Suomessa käytössä olevaa rautatievaihteiden lumensulatusjärjestelmää ja pyrkiä määrittämään lumensulatuksen kannalta optimaalisimpia ratkaisuja. Lumensulatustarvetta tarkastellaan erikseen vaihteen eri osissa ja esimerkinomaisesti määritetään yhden Suomen yleisimmän vaihdetyypin lumensulatustarve. Tämän lisäksi tarkastellaan vaihteen lumensulatusjärjestelmän hyötysuhdetta ja verrataan sitä sulatustarpeeseen.

Tutkintotyö perustuu olemassa olevaan kirjallisuuteen, omiin kokemuksiin, joita 10 vuoden työ rautateiden sähkötekniikan parissa on tuonut sekä lämmönjohtavuuden ja sulamisprosessin fysiikan malleihin. Kirjallisuus koostuu lähinnä Liikenneviraston julkaisuista ja tutkintotyön aikana havaitsin, että teoreettisia tutkimuksia vaihteiden lumensulatuksista löytyi yksi. Teoreettisen fysiikan tueksi tarkasteltiin yhtä yleisimmän rautatievaihteen rakennetta.

Työn tuloksena voidaan todeta, että Suomessa käytössä olevat rautatievaihteiden lumensulatusratkaisut omaavat huonon hyötysuhteen ja todennäköisesti niiden kyky sulattaa lunta perustuu pitkään teholliseen aikaan. Työn tuloksena voidaan määrittää vaihteen lumensulatustarve teoreettisesta. Kuitenkin työssä pystyttiin määrittämään vain joitakin tehostamishdotuksia, joiden vaikutus on todennäköisesti hyötysuhdetta nostava. Työ ei pysty aukottomasti todentamaan vaihteen lumensulatuksen prosessia, jonka tarkentaminen vaatii vaihteeseen syntyvien lämpövirtojen tarkempaa mittaamista.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences, Master's Degree  
Degree programme in Automation Technology

MIKKO KORPELA  
Electrical Snow Melting Systems of Railway Points

Bachelor's thesis 54 pages  
May 2014

---

This thesis is made in collaboration with Tampere University of Applied Sciences and VR-Track Ltd.

The snow melting systems are the major electricity consumer of railway infrastructure and cause about 10 % of all electricity consumption of the whole railway system including electrical trains. At the same time the problems caused by snow and ice are a major cause of train delays. The objective of this thesis is to examine the snow melting systems in use, and try to determine the most effective solution of melting snow at the railway point. There it is determined how much energy one point needs if we melt the all snow in it. The thesis will determine the efficiency of the snow melting system of the railway.

This thesis is based upon railway structure literature and my own experience of 10 years work in the industry. The facts of the physical theory of the heat and heat current are comparisons of the experiences and the literature. Most of the literature is publications of the Finnish Transport Agency. There is also one statement from the 1980s that openly shows the snow melting problems of the railways.

As a result, it was found that effectiveness of the current snow melting systems in the railway points are very low and their ability to melt snow is based in being powered for a very long time. In the thesis it was possible to determine the need of the snow melting at the railway point and also determining the best place of the heating unit in the point. However, the thesis cannot determine the whole melting process, more field data is required.

---

Key words: snow melting, railway point

## SISÄLLYS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO.....  | 7  |
| 1.1   | TYÖN TAVOITTEET.....   | 7  |
| 1.2   | TUTKIMUSMENETELMÄ.....   | 8  |
| 2     | VAIHTEN RAKENNE JA TOIMINTA .....                                    | 9  |
| 2.1   | Vaihteiden merkitys rautatieliikenteeseen .....                      | 9  |
| 2.2   | Vaihteet .....   | 10 |
| 2.3   | Yksinkertaisen vaihteen rakenne .....                                | 11 |
| 2.4   | Lumen ja jään aiheuttama ongelma vaihteelle.....                     | 13 |
| 3     | VAIHTEN LUMENSULATUSJÄRJESTELMÄT .....                               | 15 |
| 3.1   | Lämmityselementteihin perustuva lumensulatusjärjestelmä .....        | 16 |
| 3.1.1 | Lämmityselementit.....   | 18 |
| 3.1.2 | Mekaaniset suojat.....   | 19 |
| 3.2   | Vaihteen lumensulatusjärjestelmien ohjaus.....                       | 20 |
| 4     | LUMENSULATUKSEN TARVE VAIHTEESSA.....                                | 22 |
| 4.1   | YV60-300-1:9 tyyppisen vaihteen lumensulatus tarpeen määrittely..... | 23 |
| 4.1.1 | Vaihteen auki olevan kielisovituksen lumensulatustarve .....         | 24 |
| 4.1.2 | Vaihteen kiinni olevan kielisovituksen lumensulatustarve .....       | 25 |
| 4.1.3 | Vivustojen monttujen vaatima lumensulatus .....                      | 26 |
| 4.1.4 | Lumisateen aiheuttama lumikuorma.....                                | 26 |
| 4.2   | Vaihteen YV60-300-1:9 sulatukseen vaadittava lämmitysenergia.....    | 27 |
| 4.3   | Vaihteen YV60-300-1:9 sulatukseen vaadittava lämmitysenergia.....    | 30 |
| 5     | Lämpöenergian siirtyminen lämmityselementistä lumeen ja jäähän ..... | 33 |
| 5.1   | Lämpöenergian siirtyminen säteilemällä .....                         | 34 |
| 5.1.1 | Lumen absorboima lämpösäteily .....                                  | 36 |
| 5.2   | Lämpöenergian siirtyminen johtumalla .....                           | 37 |
| 5.2.1 | Lämmön johtuminen kiskossa.....                                      | 41 |
| 5.3   | Lämmön siirtyminen konvektiolla.....                                 | 43 |
| 5.4   | Lumeen kohdistuvat lämpövirrat .....                                 | 44 |
| 5.5   | Kielilämmityksen vaikutus vaihteen lämpövirtoihin.....               | 45 |
| 6     | POHDINTA.....  | 47 |
| 6.1   | VAIHTEN LUMENSULATUKSEN RIITTÄVYYS.....                              | 47 |
| 6.1.1 | Lumen määrän vähentäminen vaihteessa.....                            | 48 |
| 6.1.2 | Lumensulatuksen lämmitysenergian lasku .....                         | 48 |
| 6.2   | Lumensulatusjärjestelmän ohjauksen asetusarvot .....                 | 49 |
| 6.3   | Nykyisiin järjestelmiin tehtävät parannukset.....                    | 50 |
| 6.4   | Lumen ominaisuuksia muuttaminen .....                                | 51 |

|  |    |
|--|----|
| 6.5 Teoreettisesti paras lämmityselementin sijoituspaikka..... | 51 |
| LÄHTEET .....  | 53 |

## ERITYISSANASTO

|            |   |
|------------|---|
| Livi       | Liikennevirasto. Valtion rataverkosta vastaava  |
| RATO       | Ratatekninen ohje. Liikenneviraston ohje kokoelma, joka koostuu rautatiejärjestelmän eri järjestelmien ohjeista |
| Kiskopaino | Rautatiekiskon tyyppimerkintä. 1,0 m kiskoprofiilin massa [kg]  |

# 1 JOHDANTO

Tämä tutkintotyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun ylemmän ammattikorkeakoulun koulutusohjelman ja VR Track Oy:n yhteistyönä. Kiitos työnohjaamisesta Tampereen ammattikorkeakoulun puolelta Olavi Kopposella ja VR Track Oy:stä Jyrki Saarrolle.

Vaihteet ovat junaliikenteen kannalta kriittisimmät osat. Vaihteet mahdollistavat raiteiston suuren liikennöinti tiheyden sekä poikkeus ja vikatilanteiden joustavan tilanteen hallinnan. Vaihteiden toimintahäiriöt aiheuttavat välittömästi liikennöinti kapasiteetin laskua ja näkyvät hyvin nopeasti junaliikenteen täsmällisyydessä.

Talvella suurimman osan vaihteiden toimintahäiriöstä aiheuttaa lumi ja jää, joka estää vaihteen kääntymisen ja lukittumisen. Vaihteen lukittuminen oikeaan asentoon on välttämätöntä, että vaihteessa voidaan liikennöidä turvallisesti.

Vaihteiden toimintaa talviolosuhteissa pyritään parantamaan lumensulatusjärjestelmillä, joiden tarkoitus on sulattaa vaihteen tukikiskon ja kieliprofiilin väliin joutunut lumi ja jää. Suomessa käytössä olevat laitteistot ovat kahta poikkeusta lukuun ottamatta sähkötoimisia ja perustuvat vaihteeseen asennettuihin lämmityselementteihin.

Vaihteiden lumensulatuslaitteet kuluttavat hieman yli 50 % kaikesta rataverkon sähkönkulutuksesta. Junakaluston ja rautatiejärjestelmän energian kokonaiskulutukseen verrattuna vaihteiden lumensulatus vastaa noin 10 % junaliikenteen sähköenergian kulutuksesta.

(Livi: Radanpidon sähkönkulutus ja energiansäästöpotentiaali)

## 1.1 TYÖN TAVOITTEET

Tämän tutkintotyön tavoitteena on määrittää rautatievaihteiden lumensulatuksen tarvetta ja lämpöenergian siirtymistä lumeen vaihteen eri osissa. Tarkastelu tehdään sähköisiin lämmityselementteihin perustuvassa lumensulatusjärjestelmässä, joka on kuvattu Liikenneviraston vaihteenlämmityksen teknisissä määreissä.

Työn lähtökohta on määrittää vaihteiden lumensulatuksen tarve vaihteen eriosissa ja sen perusteella pyritään määrittämään sulatukseen tarvittava energiamäärä. Työssä tarkastellaan vaihteeseen asennettujen lämmityselementtien tuottamaa lämpövirtaa joka kohdistuu sulatettavaan lumeen. Työssä pohditaan myös lumensulatusjärjestelmän hyötysuhdetta. Teoreettisen tarkastelun perusteella pyritään määrittämään energiatehokkaimmat lumensulatusjärjestelmän säätöarvot ja teoreettisesti paras lämmityselementin sijoituspaikka.

## **1.2 TUTKIMUSMENETELMÄ**

Tämän työn perustana ovat Liikenneviraston rautatietechniset ohjeet, jotka liittyvät vaihteisiin ja niiden lumensulatukseen. Työn tueksi tarkastellaan kirjallisuudesta löytyviä lunta ja jäätä käsitteleviä julkaisuja. Kirjallisuudesta löytyviä ratkaisuja ja malleja verrataan fysiikan teoreettisiin määrittelyihin ja pyritään näiden avulla määrittämään teoreettinen pohja rautatievaihteiden lumensulatukselle. Teoreettisen tarkastelun apuna tarkastellaan vaihteen rakennekuvia ja niissä olevia mittoja. Tarkastelussa hyödynnetään CAD ohjelmistoa.

Teoreettisia päätelmiä verrataan omiin kokemuksiin ja erilaisiin havainnekuviin, joiden avulla pyritään määrittämään todennäköisimmät vaihteen lumensulatukseen liittyvät prosessit, olosuhteet ja lämpöenergian teoreettiset suuruudet ja suunnat.



## **2 VAIHTEEN RAKENNE JA TOIMINTA**

Rautatieliikenteessä vaihteella on hyvin merkittävä rooli. Liikennepaikoilla vaihteiden avulla mahdollistetaan vaihtotyö ja linja osuuksilla raiteiston tehokas käyttö. Etenkin yksiraiteisilla osuuksilla raiteiston tehokas käyttö ja sen myötä vaihteiden merkitys korostuu.

Suomen rautateiden runkoverkon muodostaa valtion omistama rataverkko. Rataverkon rautatielain 304/2011 mukaisena hallinnoijana toimii Liikennevirasto. Rautatierunkoverkon pituus on noin 6 000 km, josta kaksi tai useampi raiteista osuutta on vain 587 km. Suurin osa verkosta on yksiraiteista, joissa vaihteiden sijoittelu ja toiminta korostuu. (Livi: Suomen rautatietilastot 2013; Rautatielaki 304/2011)

### **2.1 Vaihteiden merkitys rautatieliikenteeseen**

Vaihteiden merkitys rautatieliikenteeseen on kaksijakoinen. Vaihteet ovat yksi raiteen epäjatkuvuuskohdista, jolloin se muodostaa riskin turvallisuudelle ja rautatiejärjestelmän toimivuudelle. Toisaalta vaihteet mahdollistavat tehokkaan ja monipuolisen rautatiekapasiteetin käytön ja sujuvan kunnossapidon. Kärjistetystä ilman vaihteita voidaan raide kalustolla ajaa ainoastaan eteen tai taakse. Vaunujen tai junayksiköiden järjestystä on lähes mahdotonta muuttaa ilman vaihteita. Pitkien yksiraiteisien osuuksien tehokas liikennöinti edellyttää ohituspaikkojen rakentamista.

Rata 2010 päivillä puhuneen Matti Katajalan mukaan vaihteissa tapahtuu suurin osa suistumisonnettomuuksista. Tätä tukee myös Toijalan 2009 ja Vammalan 2012 tapahtuneet tavarajunan suistumiset, joissa molemmissa vaihde on päässyt kääntymään junan alla. Suomen runkorataverkosta suurin osa on varustettu liikenteen kauko-ohjausjärjestelmällä. Turvallisen junakulkutien yhtenä perusteena on vaihteiden luotettava asentotieto. Jos vaihteen asento ei ole luotettavasti selvillä, pitää turvallisuuden nimissä liikenne keskeyttää.

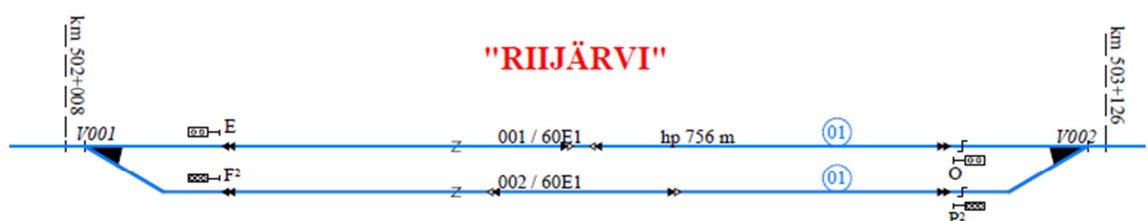
(Kataja M.: Onko monimutkaistuva rautatieympäristö uhka turvallisuudelle; YLE: Toijalan turman syynä vaihdevika; YLE: Vammalan junaturman syy: vaihde kääntyi junan alla ja suisti 13 vaunua raiteilta)

Liikenneviraston julkaisemassa rautatieliikenteen täsmällisyys 2011 julkaisussa näkyy selkeästi kuinka rautatieliikenteen täsmällisyys heikkenee talviaikoina ja suurimmiksi radan aiheuttamiksi vioiksi nimetään lumi ja vaihdeviat. Varsinkin pääkaupunkiseudun liikenteessä vaihdeviat aiheuttavat merkittävää ongelmaa, jotka korostuvat talviaikaan. Vuosien 2012 – 2014 aikana on Liikennevirasto panostanut vaihteiden mekaaniseen puhdistukseen ja lisännyt niin sanottujen harjapartioiden määrää. Tämä on parantanut junaliikenteen täsmällisyyttä. (Livi: Rautatieliikenteen täsmällisyys 2011)

## 2.2 Vaihteet

Suomen rautatierunkoverkolla on vaihteita vuoden 2013 rautatietilastojen mukaan 5 481 kappaletta ja raideristeyksiä 41 kappaletta. Vaihteita on käytössä neljää eri tyyppiä, yksinkertainen-, kaksoi- ja risteysvaihde sekä raideristeys. Yksinkertaisen-, kaksoi- ja risteysvaihteen toimintaperiaatteet ovat samanlaisia, mutta ne eroavat malliltaan ja käyttöpaikaltaan toisistaan. Raideristeys poikkeaa muista vaihteista siinä suhteessa, että ne ovat kiinteitä, eikä niissä voida muuttaa junan kulkusuuntaa. Raideristeyksiä käytetään vain liikennepaikoilla. Vaihdeyyypit jakautuvat geometrialtaan erilaisiin vaihteisiin. Esimerkiksi yksinkertaisesta vaihteesta on käytössä yhdeksän erilaista versiota. (Livi: RATO 4 Kappale 4.1.2)

Suomessa yleisin vaihdeyyppi on yksinkertainen vaihde. Sen käyttötarkoitus on ohjata vastasuuntainen raideliikenne suoralle tai poikkeavalle raiteelle. Myötäsuuntainen liikenne taas ohjataan suoralta tai poikkeavalta raiteelta yhdeksi raiteeksi. Yksinkertaisen vaihteen käyttötarkoitus on kuvattu kuvassa 1. Kuvassa on esitetty normaali yksiraiteisen rataosan kohtaamispaikka. (Livi: RATO 4 Kappale 4.1)

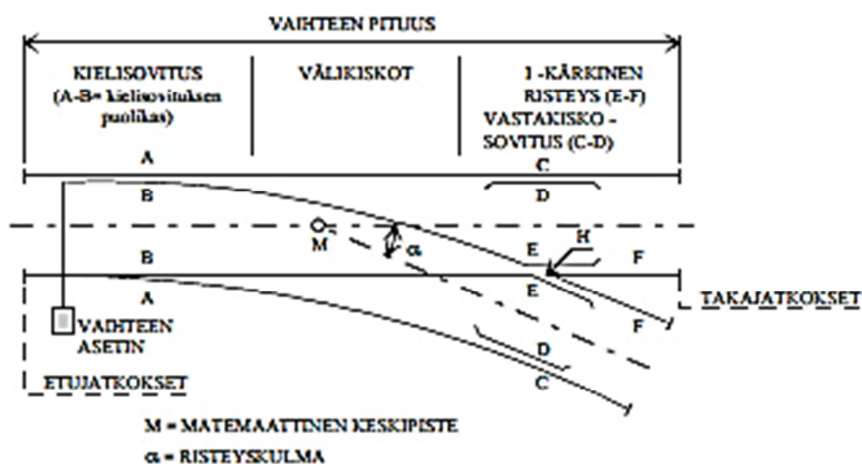


KUVA 1 Riijärven raiteistokaavio (VR Track Intra net)

Kuvassa 1 on Riijärven liikennepaikan raiteistokaavio. Kaaviosta nähdään tyypillinen yksinkertaisen vaihteen käyttötarkoitus ja yksiraiteisen raideosuuden ohituspaikka. Vaihteiden V001 ja V002 avulla voidaan junakalusto ohjata raiteelle R002, jolloin toinen juna voi ohittaa raidetta R001 pitkin sivuraiteella olevan junayksikön.

### 2.3 Yksinkertaisen vaihteen rakenne

Yksikertainen vaihde koostuu kielisovituksesta, välikiskosta, 1-kärkisestä risteyksestä ja vastakiskosovituksesta. Vaihteen toiminnan kannalta tärkein osa on kielisovitus, joka koostuu tukikiskosta, vaihteenkielestä ja vaihteenasettimesta. Yksinkertaisen vaihteen osat on esitetty kuvassa 2. Vaihteenasetinten määrä riippuu vaihteen pituudesta. Suurin osa vaihteista on varustettu yhdellä asettimella, mutta pitkissä vaihteissa asettimia on kaksi tai neljä. (Livi: RATO 4 Kappale 4.1)



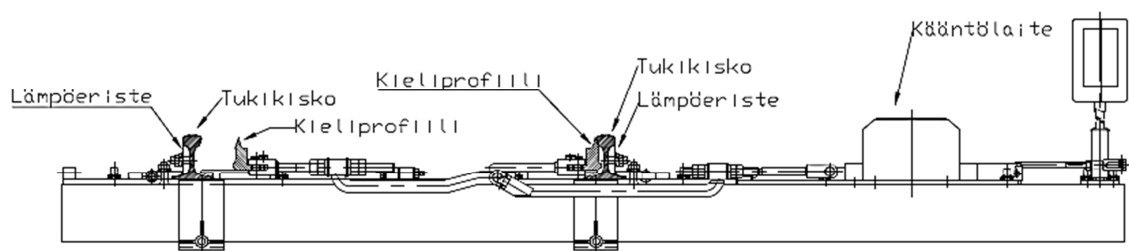
KUVA 2 Yksinkertaisen vaihteen osat (RATO 4: kuva 1)

Kuvassa 2 on esitetty yksikertaisenvaihteen koko rakenne ja siinä on eritelty kaikki vaihteen osat. Vaihteenlämmityksen näkökulmasta ei vaihteen teoreettisilla arvoilla, kuten matemaattinen keskipiste ja risteyskulma ei ole merkitystä.

Vaihteen toiminta perustuu vaihteen kieliprofiilin liikkeeseen. Kuljettaessa vastasuuntaan vaihteenkielet ohjaavat junan pyöränlaipan kulkemaan tukikiskoa pitkin suoraan tai vaihteenkaaren kautta poikkeavalle raiteelle. Suoraan ajettaessa vaihteen

suurin sallittu ylitysnopeus Suomessa on 220 km/h ja poikkeavalle raiteelle maksimissaan 160 km/h. Yleisin nopeusrajoitus poikkeavalle raiteelle on 35 km/h.

Vaihteessa junaa ohjaa vain junan pyöränlaippa, jolloin vaihteen kieliprofiilin ja tukikiskon välisestä raosta muodostuu hyvin merkittävä. Vaihteen kiinni olevan kielen ja tukikiskon välinen vällys saa olla lukittuneessa vaihteessa maksimissaan 4,0 mm ja suurempi nopeuksilla vaihteilla noin 2 mm. Vaihteen auki olevan kieliprofiilin ja tukikiskon välinen etäisyys pitää olla kärjessä 140 – 170 mm ja koko kielisovituksen matkalla vähintään 60 mm, kuva 3. (Livi: RATO 14 kappale 14.5.5)



**KUVA 3** Vaihteen kielisovituksen leikkaus vaihteen kärjessä

Vaihteenkielisovituksia on kahta päätyyppi. Joustokiskokantaisessa kielisovituksessa on kielisovituksen liikkuva- ja taipuvaosa yhtenäistä kiskoa. Sovituksen taipuisuus on saatu aikaan kiskon muotoilulla. Nivelkantaisissa vaihteissa kielisovituksen liikkuva- ja kiinteäosa eivät ole yhtenäiset. Nivelkantaiset vaihteet ovat harvinaisempia ja niitä käytetään vain sivuraiteilla, joissa ei ole suurta liikennettä. Vaihteen kieliprofiilit on yhdistetty toisiinsa mekaanisella tangolla, jolloin niiden liike tapahtuu yhtä aikaa. Tangot sijaitsevat vaihteen asettimen kohdalla, jossa niiden avulla välitetään kääntölaitteen voima kieliprofiiliin. Pidemmissä vaihteissa vaihteen kielisovituksen alueella on erillisiä tankoja, jotka on yhdistetty asentokoskettimiin. Näiden tankojen tarkoitus on välittää turvalaitteille tietoa vaihteen asennosta.

(Livi: RATO 4 kappale 4.5.4)

Vaihteen kieliprofiili on tuettu vaihdelevyillä. Kieliprofiilin liike edellyttää vaihteenkielen ja -levyn välistä hyvää liukupintaa. Vaihdelevyjen liukupinta rasvataan ja osaan vaihdetyypeistä on asennettu erilliset rullat pienentämään kitkaa. Vaihdelevyt vaativat jatkuvaa rasvausta ja ne ovat vaihteen eniten kunnossapitoa vaativa komponentti. Vaihteiden kunnossapito ohje ei ota suoraan kantaa vaihteen rasvauksen

tiheyteen, se toteaa vaan, että rasvaus tulee suorittaa riittävän usein. (Livi: RATO 4 kappale 4.5.3.3; Livi: RATO 14: kappale 4.5.3.3)

Kuvassa 4 on yksinkertaisen vaihteen kielisovitus. Kuvan vaihteen vasemman puoleinen kieliprofiili on auki ja oikeanpuoleinen kiinni poikkeavan raiteen tukikiskossa. Kuvan vaihteen kielisovitus on tyypiltään joustokantainen. Kuvassa näkyy kuinka kielisovitus on tuettu vaihdelevyillä ja vasemmanpuoleinen kielisovitus taipuu.



KUVA 4 Yksinkertaisen vaihteen kielisovitus (Vaihte YV54-200N-1:9)

## 2.4 Lumen ja jään aiheuttama ongelma vaihteelle

Vaihteentoiminta ja turvallinen käyttö perustuu vaihteen kieliprofiilin riittävään liikkeeseen ja vaihteen luotettavaan asentotietoon, jolloin vaihteenkielen ja tukikiskon väliin puristuva lumi ja jää aiheuttaa ongelman. Auki olevan kieliprofiilin ja tukikiskon väliin satanut lumi puristuu kieliprofiilin ja tukikiskon väliin, kun vaihde käännetään uuteen asentoon. Puristunut lumi saattaa estää vaihteen lukkiutumisen, jolloin vaihteen käyttö ei ole turvallista ja liikennöinti sen yli kielletään.

Vaihde on raiteessa aina epäjatkuvuuskohta ja aiheuttaa kalustossa heilahduksia. Hyvin usein myös kalusto laskee nopeutta vaihteiden kohdalla, jolloin ilmavirta pienenee. Nämä yhdessä aiheuttavat sen, että kalustosta voi pudota jäätä. Liikenneviraston teettämässä tutkimuksessa on arvioitu, että yhdessä junassa saattaa olla yli 1 000 kg jäätä. Kalustosta pudonneet jäälohkareet aiheuttavat vaihteen toimintaongelman samaan tapaan, kuin satanut lumi. Tarkkaa tilastoa kalustosta pudonneiden jäälohkareiden

aiheuttamista ongelmista vaihteissa ei ole. Asia nostetaan hyvin usein esille keskusteltaessa vaihteiden talviongelmista. (Livi: Lumen ja jään kertymisen estäminen)

### 3 VAIHTEEN LUMENSULATUSJÄRJESTELMÄT

Vaihteen lumensulatusjärjestelmän tarkoitus on sulattaa vaihteen tukikiskon ja kieliprofiilin väliin kertynyt lumi ja jää. Vaihde ei periaatteessa vaadi lämmitystä toimiakseen, mutta käytännössä on todettu, että lämpö helpottaa vaihteen mekaanisten osien liikettä. Kovalla pakkasella vaihdelevyjen rasva jähmettyy, jolloin kieliprofiilin ja vaihdelevyn välinen kitka kasvaa ja vaihteen toiminta häiriintyy. Mekaanisen liikkeen ja rasvan vaatima lämpö on hyvin pientä ja käytännössä lumensulatusjärjestelmää voidaan tarkastella järjestelmänä, joka sulattaa vaihteen toimintaan haittaavan lumen ja jää pois. (RATO 14: kappale 14.7.9)

Liikennevirasto on kuvannut omassa ohjeistuksessaan lumensulatusjärjestelmän kolmessa dokumentissa Vaihteet (RATO 4), Vaihteiden tarkastus ja kunnossapito (RATO 14) ja Vaihteenlämmityksen tekniset määreet (B17). Rautatieteknisissä ohjeissa RATO 4 ja RATO 14 on lumensulatusjärjestelmä kuvattu yhtenä talvi kunnossapidon teknisenä osana. Molemmissa ohjeissa tuodaan esille myös vaihteen mekaaninen puhdistus ja sen merkitys lumen ja jään poistossa. Vaihteenlämmityksen tekniset määreet on kuvaus lumensulatusjärjestelmien olemassa olevista teknisistä ratkaisuista. Ohje esittää nykyisin olevat vaihteiden lumensulatus ratkaisut ja määrittää uusien laitteistojen teknisiä arvoja. Ohjeessa on myös määrittely vaihdekohtaisen lumensulatusjärjestelmän asetteluarvoja. Ohjeissa ei ole otettu kantaa siihen mikä on mekaanisen puhdistuksen ja lumensulatusjärjestelmien suhde tai miten suuresta lumimäärästä lumensulatusjärjestelmän tulee selvitä. (Livi: RATO 4; Livi: RATO 14; Livi: B17)

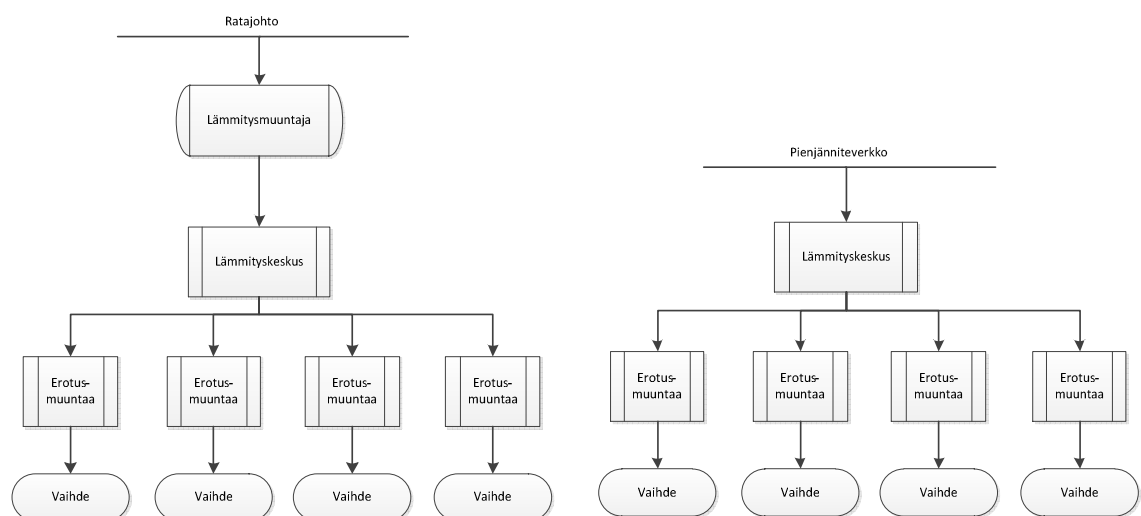
Suomessa ensimmäiset lumensulatusjärjestelmät on rakennettu 1960-luvun puolessavälissä, jonka jälkeen järjestelmiä on rakennettu kiihtyvällä tahdilla. Varsinkin liikenteen kauko-ohjauksen yleistymisen ja ohjausalueiden laajentuminen on lisännyt kauko-ohjattujen vaihteiden määrää ja samalla vaihteiden lumensulatusjärjestelmien tarvetta. Lähtökohtaisesti kaikki kauko-ohjatut vaihteet varustetaan lumensulatusjärjestelmällä. (Holberg K: Sähkölämmitys ja paineilmapuhallus vaihteiden lumenpoistossa sähköistetyn radan ratapihalla)

Tällä hetkellä, yksittäisiä pilot kokeiluja lukuun ottamatta, kaikki käytössä olevat vaihteiden lumensulatusjärjestelmät perustuvat tukikiskon jalkaan tai kieliprofiilin kylkeen asennettuihin lämmityselementteihin, jotka ovat käytännössä suuritehoisia sähköisiä lämmityselementtejä. Ilmalan ratapihan peruskorjauksen yhteydessä on asennettu yksi maalämpöä hyödyntävä lumensulatusjärjestelmä ja Kehäratahankkeen yhteydessä rakennetaan lämpöpuhaltimeen perustuva vaihteenlumensulatusjärjestelmä. (Fagerholm, K: Rautatietekniikka 2/2013; Granlund, M. Liikenteensuunta 2/2010)

Liikenneviraston ohjeet eivät tunne kuin sähköisiin lämmityselementteihin perustuvan lumensulatusjärjestelmän. 1960 ja 1970 -luvuilla on suomessa testattu useaan eri energiamuotoon perustuvaa järjestelmää, mutta kustannus ja turvallisuus syistä on päädytty sähköisiin lämmityselementteihin. (Holberg K: Sähkölämmitys ja paineilmapuhallus vaihteiden lumenpoistossa sähköistetyn radan ratapihalla; Livi: B17)

### 3.1 Lämmityselementteihin perustuva lumensulatusjärjestelmä

Suurin osa Suomen lumensulatusjärjestelmistä ottaa käyttöenergiansa sähköradasta. Sähköenergia ohjataan lämmityskeskuksen kautta vaihtekohtaisille erotusmuuntajille. Erotusmuuntajat syöttävät vaihteessa olevia lämmityselementtejä. Sähköistämättömillä rataosuuksilla vaihteenlämmityksen energian lähde on paikallisesta pienjänniteverkosta, josta se ohjataan lämmityskeskuksen kautta erotusmuuntajille ja lämmityselementeille. Kuviossa 1 on esitetty vaihteiden lumensulatusjärjestelmien energian kulku. (Livi: B17)



KUVIO 1 Sähköenergiaan perustuvien lumensulatusjärjestelmien energian jakelu



Sähköistetyillä rataosilla lämmitysmuuntaja toimii lumensulatusjärjestelmän teholähteenä. Muuntaja on ensiöstään yksivaiheinen ja toisiostaan yksi tai kaksivaiheinen riippuen lumensulatusjärjestelmästä. Kolmiportaiseen teho-ohjaukseen perustuvassa järjestelmässä lämmitysmuuntaja on nimelliseltä jännitteeltään 27,5 kV / 400 V, 347 V, 283 V. Uusissa, vaihdekohtaiseen elektroniseen tehonsäätöön perustuvissa järjestelmissä, käytetään yksinkertaisempaa muuntosuhteeltaan 27,5 kV / 400 V olevaa lämmitysmuuntajaa. (Livi: B17)

Lämmityskeskus toimii järjestelmän ohjauksen rajapintana ja jakaa tehonsyötön vaihdekohtaisille erotusmuuntajille. Lämmityskeskus vastaa rakenteeltaan normaalia pienjänniteverkon katujakokaappia, jossa on ohjauksien vaatimat lisäkomponentit. Kolmiportaiseen tehonsyöttöön perustuvien lumensulatusjärjestelmien lämmityskeskus on rakenteeltaan monimutkaisempi, koska ohjausjärjestelmä vaatii neljä jännitekiskostoa keskukseen. Uudemmissa järjestelmissä keskus on käytännössä jakokeskus, jossa on vaihdekohtaisten syöttöjen pääkontaktori ja suojaavat sulakkeet. (Livi: B17)

Sähköisiin lämmityselementteihin perustuva lumensulatusjärjestelmä vaatii aina erotusmuuntajan. Erotusmuuntajan käyttötarkoitus on varmistaa radan turvajärjestelmiin kuuluvien raidevirtapiirien toiminta ja erottaa sähköradan paluuvirtapiiri lumensulatusjärjestelmästä. Erotusmuuntajaa käytetään myös vaihteen sähkönsyötön jännitteen tasaamiseen ja muunnetaan 400 V syöttöjännite 230 V jännitteeksi. (Livi: B17)

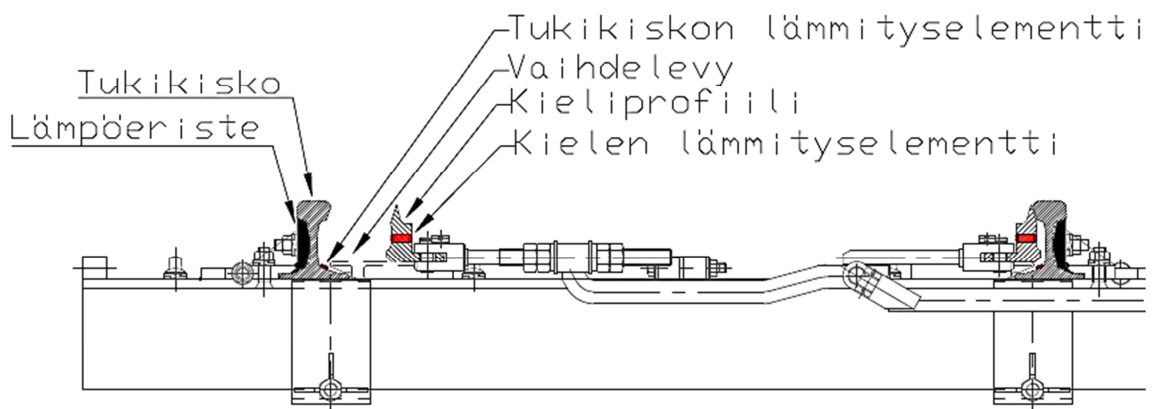
Lumensulatusjärjestelmän tärkeimmät komponentit ovat vaihteeseen asennettavat lämmityselementit. Elementit ovat teräskuoren sisään koteloituja sähkövastuksia. Elementtien pituudet vaihtelevat 3000 mm ja 6000 mm välillä. Sähköinen teho vaihtelee 700 W ja 2 300 W välissä. Elementtien metriteho vaihtelee 200 W/m ja 500 W/m välillä. Yksittäiseen vaihteeseen asennetaan yleensä vain tukikiskon lämmityselementit, mutta yhä enemmän vaihteisiin asennetaan myös kieliprofiilin lämmityselementit tukemaan lumensulatusta. Yksittäisten vaihteiden lämmitysteho vaihtelee 8 kW ja 64 kW välillä vaihdetyypistä ja -mallista riippuen. (Livi: B17)

### 3.1.1 Lämmityselementit

Lämmityselementti on muodoltaan ovaali, jonka koko hieman vaihtelee. Elementtien pinta-alan määrittämiseksi, mitattiin todellisten elementtien mitat. Elementin korkeus vaihteli 13,0 mm ja 19,5 mm välillä ja paksuus 6,0 mm ja 7,0 mm välillä. Ympärysmitta vaihteli 36 mm ja 42 mm välillä. Keskimääräinen 1,0 m lämmityselementin pinta-ala on 0,039 m<sup>2</sup>.

Lämmityselementtejä asennetaan vaihteen tukikiskoon ja / tai kieliprofiiliin. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty lämmityselementtien sijoitus vaihteessa. Lämmityselementit kiinnitetään kiskon jalkaan metallisten jousiklemmarien avulla. Kielielementit asennetaan vaihteen kieliprofiiliin tehtyyn erilliseen uraan jousiklemmarien avulla. Klemmarit painavat elementin kiskoa vasten, mutta sallivat elementin lämpöliikkeen.

Kiskosta haihtuvan lämpöenergian vähentämiseksi tukikiskon ulkopintaan asennetaan lämpöeriste.



KUVA 5 Vaihteen tukikiskon lämmityselementti



Tukikiskon lämmityselementti

Lämmityselementin jousiklemmari

Vaihteen vivuston lumisuoja

Kieliprofiilin lämmityselementti

KUVA 6 Vaihteen tukikiskon ja kielen lämmityselementti

### 3.1.2 Mekaaniset suojat

Vaihteen mekaanista toimivuutta parannetaan asentamalla vaihteenkääntölaitteen ja asentokoskettimien vivustojen suojaksi kannet. Kansien tarkoitus on estää lian ja esimerkiksi ratasepelin pääsyn vivustoon. Kääntölaitteen ja asentokoskettimien syvennykset varustetaan niin sanotuilla monttulämmityksellä, joiden tarkoitus on sulattaa mekaanisiin osiin kertynyt jää ja lumi. Monttulämmitin on teholtaan 600 W ja se asennetaan ratapölliin väliin vivustojen alle. Monttulämmitys lisätään yleisesti kielilämmityksen asennuksen yhteydessä. (Livi: RATO 14 kappale 14.7.9)

Linjalle sijoitettujen pitkien vaihteiden kantaan, tukikiskon ja kielisovituksen väliin asennetaan lumiesteitä. Esteen tarkoitus on estää lumenpoistossa lumen kulkeutuminen vaihteenkielen ja tukikiskon väliin. Lumieste toimii myös tuuli esteenä, joka vähentää radansuuntaisen ilmavirran jäähdyttävää ominaisuutta. (Livi: RATO 14 kappale 14.7.9)

### **3.2 Vaihteen lumensulatusjärjestelmienohjaus**

Teknisesti tarkasteltuna kaikki vaihteenlumensulatusjärjestelmät on dokumentoitu vaihteenlämmityksen teknisissä määreissä B17 pois lukien pelkkään ulkoilman lämpötilaan perustuvat järjestelmät. Kyseessä on kuitenkin ohje ja dokumentointi on vain teknisellä tasolla ja se on esitetty esimerkkien kautta. (Livi: B17)

Ensimmäiset lumensulatusjärjestelmät on rakennettu 1960-luvulla ja niiden ohjaus on perustunut vain ulkoilman lämpötilaan ja paikalliseen käsiohjaukseen. Käytännössä nämä ensimmäiset järjestelmät ovat päällä syyskuusta toukokuun alkuun joitakin suojapäiviä lukuun ottamatta. Rataosuuksien perusparannuksien yhteydessä kyseiset järjestelmät on korvattu uudemmilla, mutta 2000-luvun alussa kyseistä järjestelmää oli vielä käytössä. Järjestelmää on dokumentoitu vain joihinkin sähköisiin piirustuksiin, mutta muuta ohjeistusta tai kuvausta ei ole.

1970-luvun lopulla, junaliikenteen kauko-ohjauksen yleistyttyä, liitettiin vaihteiden lumensulatusjärjestelmän ohjaus osaksi liikenteenohjausta. Samassa yhteydessä kehitettiin kolmiportainen lumensulatuksen ohjausjärjestelmä, joka perustuu kolmeen jännitetasoon, joista liikenteen ohjaaja voi valita halutun tehoportaan. Ohjauksen lisänä on paikalliset ulkoilman termostaatit, jotka rajoittavat lämmitystä. Järjestelmässä on takaisinkytkentänä ohjausreleiden tilatiedot, mutta kyseessä ei ole säätöpiiri ja lumensulatuksen tarve on jokaisen yksittäisen liikenteenohjaajan arvioitava. (Livi: B17)

kolmiportaisen lumensulatusjärjestelmän kehityksestä ei löytynyt dokumentoitua kehitysohjelmaa ja uskon, että kolmiportaisen ohjausjärjestelmän kehitys on ollut yksittäisten suunnittelijoiden työn tulosta, joka on dokumentoitu järjestelmien kytkentäpiirustuksiin. 2010-luvulla on VR Track insinööritöinä kehittänyt kolmiportaiseen järjestelmään kaksipiste säädön, joka ulkoilman termostaatin lisäksi rajoittaa lämmitystä. (Kontkanen M: Liikenteensuunta 2/2010)

2000-luvun alkupuolella on kehitetty elektroniseen säätöön perustuva vaihteen lumensulatusjärjestelmä. Kyseessä on ensimmäinen Suomessa käyttöön otettu lumensulatusjärjestelmä, joka perustuu kiskolämpötilan mittaamiseen ja sen perusteella tehtävään vaihdekohtaiseen lämmitystehon säätöön. Järjestelmän kytkeytyy päälle ulkoilman termostaatin ja liikenteenohjaajan ohjauksesta, mutta säätää itsenäisesti

lämmitysjärjestelmän tehoa vaihdekohtaisesti tukikiskonlämpötilan perusteella. Järjestelmän kehityksestä ei ole järjestelmällistä dokumentaatiota tai kehitysohjelmaa. Dokumentaatio koostuu yksittäisten kohteiden kytkentäpiirustuksista ja laitetoimittajien käyttöohjeista. Kiskolämpötilan asetusarvot on esitetty vaihteenlämmityksen teknisessä ohjeessa B17, mutta asetteluarvojen perusteista ei ole dokumentaatiota. (Livi: B17)

2010-luvun alkupuolella vaihteiden lumensulatusjärjestelmien kehitys on perustunut vaihdekohtaisen elektronisenohjausjärjestelmän erilaisiin versioihin. Järjestelmän periaate on säilynyt, mutta eri urakoitsijat ovat käyttäneet säädössä eri toimittajien elektronisia säätöpiirejä. VR Track Oy on vuonna 2009 rakentanut Seinäjoki-Vaasa väliselle raideosuudelle kahteen säätöpiiriin perustuvan järjestelmän, joka säätää vaihteen A- ja B-puolen lämmityksen erikseen. Kokeilusta ei ole olemassa mitään systemaattista seurantaa tai tutkimustulosta saatavilla.

#### 4 LUMENSULATUKSEN TARVE VAIHTEESSA

Vaihteen lumensulatus tarpeen määrittelyn lähtökohtana on, että vaihde ei mekaanisilta osiltaan tarvitse lämmitysenergiaa vaan kaikki lämmitys tarvitaan vaihteen kieliprofiilin liikettä estävän ja vaihteen tankokuopissa olevan lumen sulattamiseen. Tämän perusteella voidaan lämmitystarpeen määrittely tehdä tarkastelemalla vaihteen kielisovituksen liikettä.

Vaihteen kielisovituksen toiminta vaatimukset on esitetty Liikenneviraston ohjeissa vaihteet RATO 4 ja vaihteen kunnossapito RATO 14. Ohjeen vaatimus on, että vaihteen kielisovituksen auki olevalla puolelle kieliprofiilin ja tukikiskon välinen vapaa tila tulee olla kielenprofiilin kärjessä 140 – 170 mm. Pienin vaihteentukikiskon ja -kieliprofiilin välinen etäisyys saa olla nimellisesti 65 mm ja vähintään 60 mm. Tukikiskon ja kieliprofiilin välinen etäisyys on pienin kielisovituksen risteyksen päässä. Samoin RATO 14 vaatii, että kielisovituksen olleessa kiinni vaihteen kieliprofiilin ja tukikiskon välinen rako saa olla 2,0 – 4,0 mm. Nämä mitat asettavat raja-arvot vaihteen kieliprofiilin liikkeelle ja sitä kautta lumensulatukselle. (Livi: RATO 4: Livi: RATO 14)

Suomessa yleisimmin käytetyt vaihdetyypit ovat YV54-200N-1:9 ja YV60-300-1:9. Molemmat vaihteet ovat rakenteeltaan yksinkertaisia vaihteita ja yleisesti käytössä ratapihoilla ja pienillä liikennepaikoilla. Lisäksi risteysvaihteet ovat vaihteenkielten liikkeen osalta vastaavia kuin yksinkertaiset YV54 ja YV60 vaihteet. Näiden vaihteiden merkittävin ero on tukikiskon kiskopaino ja kielisovituksen pituus.

(Livi: RATO 4 liite 1)

Lumensulatusjärjestelmän kannalta vaihteissa ei ole eroa. Kaikkien vaihteiden kielisovituksen lämmityselementit ovat samankaltaiset. Tässä tutkintotyössä lähempi tarkastelu tehdään YV60-300-1:9 tyyppisellä vaihteella. (Livi: B17)

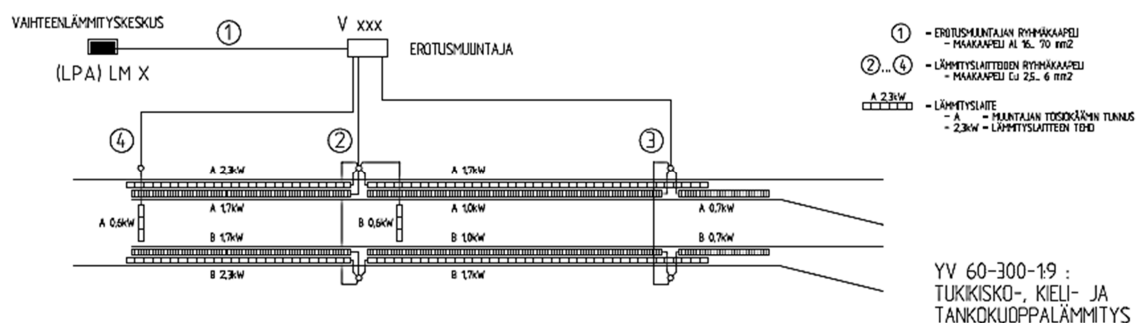
#### 4.1 YV60-300-1:9 tyyppisen vaihteen lumensulatus tarpeen määrittely

Vaihteen lumensulatustarpeen teoreettinen määrittäminen voidaan tehdä tarkastelemalla miten lumi estää eri vaihteen osien toimintaa. Tarkastelu tehdään erikseen vaihteen molemmille kieliprofiileille ja tankokuopalle. Kaikista osista arvioidaan haittaavan lumen maksimimäärä. Lumimäärän perusteella arvioidaan kuinka suuri lumimassa pitää eriosissa sulattaa.

Lumimassa määrittämiseksi arvioidaan lumen tiheys. Liikenneviraston teettämän lumen ja jäänkertymistä käsittelevän tutkimuksen perusteella vastasataneet lumentiheys vaihtelee  $10 \text{ kg/m}^3$  ja  $300 \text{ kg/m}^3$  välillä. Satavan lumen tiheyteen vaikuttaa eniten ilman lämpötila. Tiheys kasvaa, kun lämpötila nousee. Selvitystä tukee Oulun yliopiston lunta käsittelevä raportti.

(Livi: Lumen ja jään kertymisen estäminen: Oulun yliopisto: Lumen teknisiä ominaisuuksia)

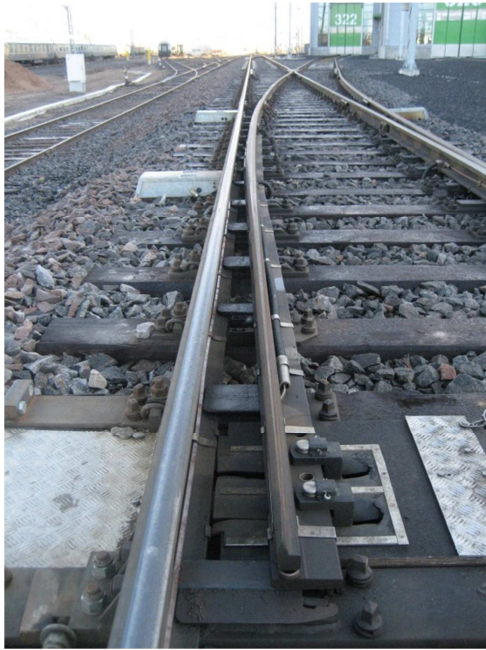
Lähemmin tarkasteltava vaihde on yksinkertainen YV60-300-1:9. Vaihteen tukikiskon kiskopaino on 60,21 kg/m. Vaihteen liikennöinti nopeus poikkeavalle raiteelle tai poikkeavalta raiteelta on 35 km/h. Vaihteen kokonaispituus on 33,2 m ja sen kielisovituksen pituus on 16,6 m. Vaihteen tukikiskoissa on molemmissa kaksi ja vaihteen kielisovituksessa kolme lämmityselementtiä. Elementtien kaaviomainen sijoittelu ja nimellistehot on esitetty kuvassa 7. Lisäksi vaihteessa on vaihteenasettimen ja -koskettimen tankokuopissa lämmityselementit. (Livi: B17: EN 13674.1)



KUVA 7 Vaihteen YV60-300-1:9 lämmityselementtien sijoittelu ja nimellistehot. (Livi: B17 Liite 14)

#### 4.1.1 Vaihteen auki olevan kielisovituksen lumensulatustarve

Vaihteen YV60-300-1:9 auki asennossa olevan kieliprofiilin ja tukikiskon väli on suurimmallaan kielenkärjessä 172 mm ja koko kielisovituksen matkalla vähintään 60 mm. Vaihde on kielisovitukseltaan joustokantainen ja kielen ensimmäinen kiinteä tuki on ratapölliin 12 ja 13 välissä, jolloin vaihteen kielisovituksen kärki liikkuu 6,5 m matkalta, kuva 8.



KUVA 8 Vaihteen auki oleva kielisovitus

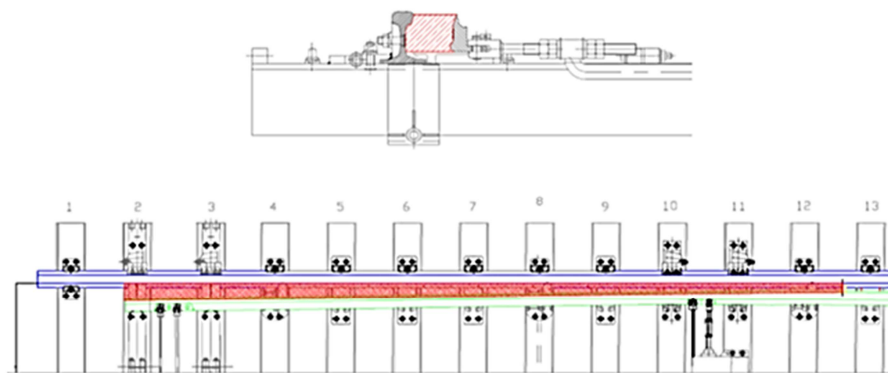
YV60-300-1:9 vaihteen rakeenkuvan perusteella voidaan määrittää pinta-ala, josta lumi ja jää pitää sulattaa. Sulatettava pinta-ala on  $0,67 \text{ m}^2$  -  $0,75 \text{ m}^2$ .

Tarkasteltaessa vaihteen kielen liikettä, voidaan todeta, että kriittisin kohta puristuvan lumen osalta on vaihdelevyjen kohdalla. Vaihdelevyjen välissä ratasepeli ei missään tilanteessa voi nousta vaihdelevyn alapinnan yläpuolelle, koska silloin sepeli kiilautuu vaihteen kieliprofiilin ja tukikiskon väliin ja estää kieliprofiilin liikkeen. Toisaalta vaihdelevyjen alapinnan alapuolelle satanut lumi leikkaantuu vaihteen liikkeessä, jolloin se ei aiheuta toimintahäiriötä. Voidaan siis määrittää, että vaihteenkielen korkeus vaihdelevyjen kohdalta mitattuna määrittää syvyysuunnassa lumensulatuksen tarpeen. Vaihteenkielen korkeus vaihdelevyistä mitattuna on noin 125 mm.



Kiinni olevassa kielisovituksessa kieliprofiilin ja tukikiskon väli on pieni ja voidaan olettaa, että väliin ei saa jäädä yhtään lunta.

Vaihteen auki olevan kielisovituksen lumensulatustarve voidaan siis päätellä vaihteen kielisovituksen liikkuvan osan ja kieliprofiilin korkeuden rajaaman alueen perusteella. Kielisovituksen ja kieliprofiilin välin jäävä tilavuus, jossa ei saa olla lunta, on  $0,084 \text{ m}^3$  -  $0,094 \text{ m}^3$ . Sulatettava alue on kuvattu kuvassa 9, jossa on leikkaus auki olevan tukikiskon ja kieliprofiilin välistä, sekä alue, jossa kieli liikkuu.



KUVA 9 Tukikiskon ja kielisovituksen välinen alue, jossa lumi aiheuttaa ongelmaa

Voidaan siis päätellä, että YV60-300-1:9 -tyyppisessä vaihteessa tukikiskon ja kielisovituksen välistä sulatettavan lumen määrä vaihtelee 0,8 kg ja 30 kg välillä riippuen lumen tiheydestä.

#### 4.1.2 Vaihteen kiinni olevan kielisovituksen lumensulatustarve

Vaihteen kiinni olevalla puolella kielisovitus on kääntynyt tukikiskoa tai siirtymäkaarta vasten. Vaihteen kääntyessä, siirtyy kieliprofiili pois tukikiskosta tai siirtymäkaaresta ja työntää edellään olevaa lunta ja jäätä. Tarkasteltaessa vaihteen leikkauskuvaa, voidaan todeta, että auki liikkuva kieliprofiili ei purista lunta mitään vasten. Samoin kuvan 10 perusteella voidaan todeta, että kääntölaitteen vivusto on sijoitettu vaihdelevyjien väliin ja liikkuu vapaasti.



**KUVA 10** Vaihteen kiinni oleva kieli

Teoreettisesti voidaan päätellä, että vaihteen kiinni oleva kielisovitus ei vaadi lumensulatusta.

#### **4.1.3 Vivustojen monttujen vaatima lumensulatus**

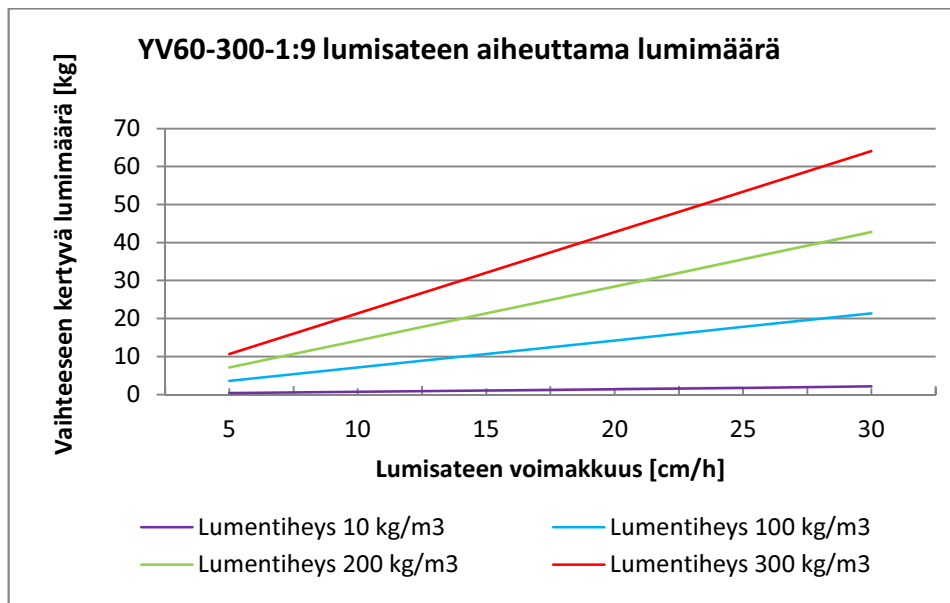
Vaihteen kääntölaitteet ja asentokoskettimen vivustot sijaitsevat vaihteen kielisovituksen alueelle raiteiden välissä. Niiden liike on rataan nähden kohtisuora ja periaatteessa niiden liike ei aiheuta lumen puristumista. Uusissa vaihteissa vivustot on suojattu erillisillä suojilla, jotka suojaavat syvennystä lumenta ja jäältä.

Teoriassa voidaan päätellä, että vaihteen asettimen ja koskettimen vivustot eivät tarvitse lämmitystä.

#### **4.1.4 Lumisateen aiheuttama lumikuorma**

Teoreettisesti tarkasteltuna ainoa vaihteen osa, jossa lumi aiheuttaa välittömän haitan, on vaihteen auki olevan kielisovituksen ja tukikiskon väli. Varsinkin, jos huomioidaan, että uusi lumi liukuu vaihteenlevyllä jäätynyttä lunta paremmin. Tämä perusteella lumisateen aiheuttamaa lumikuormaa voidaan tarkastella vaihteen tukikiskon ja kieliprofiilin väliseen teoreettiseen tilavuuden suhteen.

Kun lumisade on 12,5 cm tunnissa, täyttyy auki olevan kielisovituksen ja tukikiskon väli yhden tunnin aikana, jolloin sulatustarve vastaa teoreettista lumen sulatustarvetta. Lumisateen aiheuttama lumikuorma vaihteen auki olevan kielisovituksen ja tukikiskon välissä on esitetty kuvaajassa 2.



KUVIO 2 YV60-300-1:9 vaihteen toimintaa häiritsevän lumen määrä lumisateen funktiona

Lumisateen aiheuttamaa lumikuorma vaihteelle on riippuvainen satavan lumen tiheydestä. Tilanteessa, jossa ulkoilman lämpötila on korkea, lumi on kosteampaa ja tiheämpää, jolloin vaihteeseen kertyy suurempi lumimäärä.

#### 4.2 Vaihteen YV60-300-1:9 sulatukseen vaadittava lämmitysenergia

Lumen sulattamiseen tarvittava lämpöenergia voidaan arvioida vaihteeseen kertyvän haitallisen lumimäärän perusteella. Fysiikan termodynamiikan teorian mukaan aineen sulattamiseen vaadittava lämpöenergian määrään vaikuttaa aineen lämpökapasiteetti ja aineen lämpötila. Termodynaamisilta ominaisuuksiltaan lumi ja jää ovat yhtenevät. Taulukossa 1 on esitetty jään termodynaamiset ominaisuudet.

(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 15)

**TAULUKKO 1 Lumen ja jään termodynaamiset ominaisuudet**

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Sulamispiste                | 0 °C           |
| Lämpökapasiteetti $c$       | 2,10 kJ / kg·K |
| Ominaissulamislämpö $l_s$   | 334 kJ / kg    |
| Ominaishöyrystyslämpö $l_h$ | 2260 kJ / kg   |

Teoreettisen fysiikan kannalta lumen sulaminen jaetaan kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa lumi lämpenee sulamispisteeseensä ja toisessa vaiheessa lumi muuttuu kiinteästä nestemäiseksi. Lumen lämpenemisen vaatima lämpömäärä voidaan laskea yhtälön 1 avulla. Lämpömäärä  $Q$  lasketaan aineen ominaislämpökapasiteetin  $c$ , aineen massa  $m$  ja aineen lämpötilan muutoksen  $\Delta T$  avulla.

(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 15.2: Tekniikan kaavasto)

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \Rightarrow Q_{\text{lämpeneminen}} = mc \Delta T \quad \text{Yhtälö 1}$$

Seuraavassa esimerkissä on laskettu 28,2 kg lumimäärän vaatima lämpömäärä, kun se lämmitetään sulamispisteeseen. Esimerkissä lumen lähtölämpötila on -5 °C.

$$Q_{\text{Lämpeneminen}} = 28,2 \text{ kg} \cdot 2,10 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (0^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})) = 296,1 \text{ kJ}$$

Lumen sulamisen toinen vaihe on sulamispisteeseen lämminneen lumen muuttaminen kiinteästä nestemäiseen muotoon. Sulamisen lämpömäärä voidaan laskea yhtälöllä 2. Lämpömäärä riippuu aineen ominaissulamislämmöstä  $l_s$  ja aineen massasta  $m$ .

(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 15.3)

$$Q_{\text{Sulaminen}} = ml_s \quad \text{Yhtälö 2}$$

Seuraavassa esimerkissä on laskettu 28,2 kg lumimäärän sulattamiseen vaadittava lämpömäärä.

$$Q_{\text{Sulaminen}} = 28,2 \text{ kg} \cdot 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 9\,419 \text{ kJ}$$

Lumensulamisen kokonaislämpömäärä voidaan laskea prosessin molempien vaiheiden lämpömäärän summana yhtälön 3 perusteella.

$$Q_{\text{Kokonais}} = Q_{\text{Lämpene min en}} + Q_{\text{Sula min en}} \quad \text{Yhtälö 3}$$

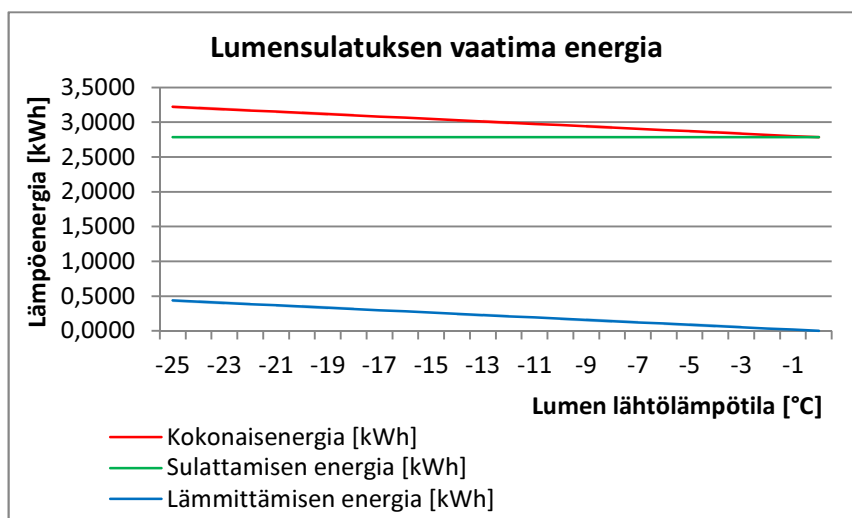
Seuraavassa esimerkissä on 28,2 kg lumimäärän sulattamisen vaadittava kokonaislämpömäärä. Esimerkissä lumen lähtölämpötila on -5 °C. Lämpömäärä voidaan ilmoittaa myös lämpöenergiana  $E$ , jolloin se on suoraan verrannollinen vaadittavaan sähköenergiaan. Yksi kilowattitunti kWh vastaa 3,6 miljoonaa joulea MJ.

$$Q_{\text{Kokonais}} = 296,1 \text{ kJ} + 9\,419 \text{ kJ} = 9\,688,1 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$\Rightarrow E_{\text{Kokonais}} = \frac{9,688 \text{ MJ}}{3,6 \text{ MJ/kWh}} = 2,69 \text{ kWh}$$

Koska lumensulattamiseen vaadittava lämpömäärä riippuu lumen lämpötilasta, on kuvioon 3 laskettu vaihteen toiminnan estävän teoreettisen enimmäislumimäärän vaatima lämpöenergia lumen lämpötilan funktiona. Kuvaajan perusteella voidaan todeta, että lumen lämmittämiseen sulamispisteeseen vaadittava lämpömäärä on pieni, jos sitä verrataan lumen sulattamiseen vaadittavaan lämpömäärään. Vasta, kun lumen lämpötila alittaa -16 °C, kuluu kokonaisenergiasta yli 10 % lumen lämmittämiseen.



KUVIO 3 Lumen sulattamiseen vaadittava lämpöenergia lumen lämpötilan funktiona. Tarkastelun lumimäärä on 30 kg

Teoreettisesti voidaan todeta, että YV60-300-1:9 vaihteen vaatima lumensulatuksen energiamäärä on 3,0 - 3,5 kWh. Tästä tarkastelusta jätetään pois kalustosta putoavan jään vaikutus.

Kalustosta putoavan jään määrää ei voida määrittää, mutta liikenneviraston selvityksen mukaan kalustossa saattaa olla satoja kiloja jäätä. On siis oletettavaa, että mahdollisesti vaihteeseen putoavat jäälohkareet painavat kymmeniä kiloja. Samoin on oletettavaa, että jäälohkareiden sulattamiseen vaadittava lämpöenergian määrä on suurempi kuin lumisateen aiheuttama lämpöenergian tarve, koska kalustossa lumi on pakkaantunut tiiviimmäksi ja ajoviima on jäähdyttänyt sitä.

(Livi: Lumen ja jään kertymisen estäminen)

#### **4.3 Vaihteen YV60-300-1:9 sulatukseen vaadittava lämmitysenergia**

Vaihteen lämpöenergiatarpeen teoreettisessa tarkastelussa on huomioitu vain lumen sulattamiseen vaadittava lämmitysenergia, mutta käytännössä tiedetään, että myös vaihteen kiinni oleva kielisovitus ja tankokuopat vaativat lämmitysenergiaa. Pakkanen jäykistää vaihdelevyjen rasvan, jolloin kieliprofiilin ja vaihdelevyn välinen kitka kasvaa. Samoin vaihteen vivustoihin kertyy jäätä tuiskun ja sulaneen lumen vaikutuksesta. Näin ollen vaihteen lämpöenergian tarvetta ei voida tarkastella vain lumensulatuksen näkökulmasta.

Tarkasteltaessa vaihteen kiinni olevan kielisovituksen poikkileikkausta kuvasta 5, voidaan todeta, että kieliprofiili ja tukikisko muodostavat suojaavan taskun, jossa lämmityselementteihin ei kohdistu konvektiota ja lämmityselementin synnyttämät lämpövirrat kohdistuvat kaikki vaihteen rakenteisiin. Tarkkaa vaihdelevyjen vaatimaa lämpöenergian määrää ei voida laskennallisesti todeta, mutta kappaleessa 6.2 tehtyjen päätelmien mukaan voidaan olettaa, että vaihdelevyjen lämmittämisen vaatima lämpöenergian määrä on joitakin satoja wattitunteja. Joka tapauksessa vaihdelevyn pintalämpötila tulee olla alhainen, koska korkea pinta-lämpötila kasvattaa konvektion vaikutusta ja nostaa häviöitä.

Vaihteen kielisovituksen ja tukikiskon välistä sulatettu vesi kertyy vaihteen asettimen ja koskettimien vivustoihin ja jäätyy. Kertynyt jää estää vivuston liikkeen ja vaihteen

toiminta häiriintyy. Kertyvän jään määrää ei voida laskennallisesti määrittää. Kokemuksesta kuitenkin tiedetään, että nykyisin käytössä olevat lämmitykset ovat riittävät.

Vivustojen lämmitin on teholtaan 600 W ja se pystyy tuottamaan tunnissa 0,6 kWh lämpöenergian, joka vastaa 2,16 MJ lämpömäärää. Yhtälöiden 1, 2 j 3 perusteella voidaan laskea, kuinka suuren jäämassan vivustojen lämmitin pystyy sulattamaan.

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{lämmin}} = 0,6 \text{ kWh} \cdot 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} = 2,16 \text{ MJ}$$

$$Q_{\text{Kokonais}} = Q_{\text{Sulaminen}} + Q_{\text{Lämpeneminen}} = ml_s + mc\Delta m$$

$$\Rightarrow m = \frac{Q_{\text{Kokonais}}}{c\Delta T + l_s}$$

Seuraavassa esimerkissä on laskettu lämpötilaltaan  $-5^{\circ}\text{C}$  lumen määrä, jonka lämmitin pystyy sulattamaan 10 minuutin aikana.

$$m_{\text{jää}} = \frac{360 \text{ kJ}}{2,10 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot (0^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C})) + 334 \text{ kJ/kg}} = 1,0 \text{ kg}$$

Vaikka lumi olisi tiivistä, pystyy monttulämmitin sulattamaan teoriassa noin 3 litraa lunta 10 min aikana. Voidaan olettaa, että tämä on riittävä.

Teoreettisesti tarkasteltuna voidaan todeta, että YV60-300-1:9 vaihteen lumensulatuksen vaatima lämmitysenergia on 5-7 kWh. Arvio perustuu siihen olettamukseen, että lumisade ei on maksimissaan 12,5 cm/h ja lumi jakaantuu tasaisesti vaihteeseen.

Kalustosta putoavien jäälohkareiden sulattamiseen vaadittavaa lämpöenergianmäärää ei voida määrittää. Teoriassa lämmitystarve on johdettavissa jäälohkareen painosta, mutta silloin tulisi määrittää putoavan lohkareen koko ja kuinka paljon siitä osuu keskimäärin vaihdelevyn kohdalle ja estää vaihteen toimintaa. Koska mitään tilastollista tai muuta aineistoa kalustosta vaihteisiin putoavista jää lohkareista ei ole, ei tässä työssä tarkastella jäälohkareiden sulattamisen vaatimaa lämpömäärää



## 5 Lämpöenergian siirtyminen lämmityselementistä lumeen ja jäähän

Fysiikan termodynamiikan teorian mukaan lämmönergian siirtyminen jakaantuu kolmeen tapaan konvektioon, johtumiseen ja lämpösäteilyyn. Konvektiolla tarkoitetaan lämmönsiirtymistä aineen virtauksen mukana. Esimerkkisi lämmitessään vesi nousee ylös ja siirtää mukanaan lämpöenergiaa. Konvektio on yleinen lämpöenergian siirtymistapa nesteissä ja kaasuissa. Toinen tapa on johtuminen, jolla tarkoitetaan lämpöenergian siirtymistä aineissa. Johtuminen on hyvin riippuvainen materiaalista. Esimerkiksi metallit johtavat paremmin lämpöä kuin puu. Kolmas lämpöenergian siirtymismuoto on säteily. Säteilyssä merkittävään rooliin nousee säteilevän kappaleen pintalämpötila, sekä pinnan laatu ja luonne. Säteilyssä on huomioitavaa myös, että lämpösäteilyn imeytyminen on myös riippuvaista säteilyn kohtaan laadusta ja luonteesta. Esimerkiksi valkoinen seinä imee lämpösäteilyn tehoa huomattavasti huonommin kuin musta seinä. (Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16)

Vaihteen lumensulatusjärjestelmässä lämmityselementin teho siirtyy kaikilla kolmella tavalla. Lämmityselementti säteilee lämpösäteilyä suoraan pinnaltaan ympäröiviin rakenteisiin ja lumeen. Osa säteilystä ei kohdistu kiskoon tai lumeen, jolloin lämpösäteily on hukkaa. Osa lämpöelementin lämpöenergiasta johtuu elementin pinnasta suoraan kiskoon. Johtuvaan lämpöenergianmäärään vaikuttaa eniten lämmityselementin ja kiskon välinen rajapinta. Jos elementti on hyvin kiinni kiskossa ja välissä ei ole epäpuhtautta, on johtuminen voimakasta. Lämmityselementti lämmittää myös ympärillään olevaa ilmaa, joka lämmitessään nousee ylös ja kuljettaa lämpöenergiaa mukanaan. Samoin vaihteen lämminneet rakenteet lämmittävät ympärillään olevaa ilmaa, jolloin energiaa siirtyy konvektion avulla pois.

(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16)

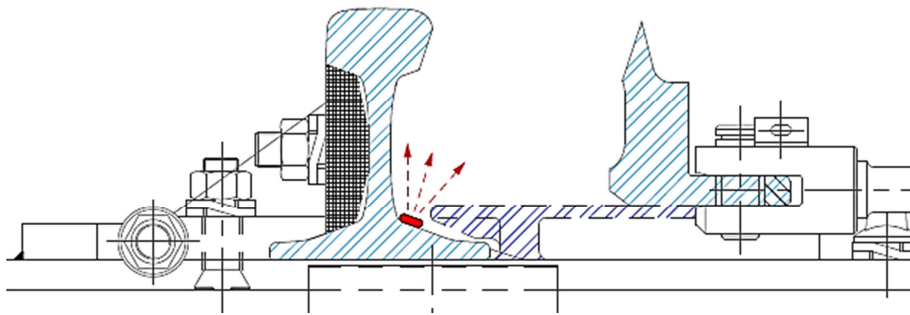
Liikenneviraston ohjeissa lämmityselementtien lämpöenergiasta on maininta RATO 4 ohjeen kappaleessa 4.5.8.2. Kappaleessa mainitaan, että lämpöenergia jakautuu kiskon ja vaihteen kielisovituksen ilmapälin suhteen. Ohjeissa ei ole mainittu mikä on lumensulatusjärjestelmän kannalta tavoitelluin energian siirtymistapa.

(Livi: RATO 4 kappale 4.5.8.2)

Koska lämmönsiirtyminen on riippuvainen lämpöenergian lähteestä ja sen pinta-alasta tehdään lämpöenergian siirtymisen tarkastelu vaihteen kielen kärjestä 1,0 m matkalla. Samoin tarkasteluissa oletetaan, että lämmityselementin pinta-ala on  $0,039 \text{ m}^2$ . Lähempi tarkastelu tehdään vain tukikiskon elementin osalta.

## 5.1 Lämpöenergian siirtyminen säteilemällä

Vaihteentukikiskon ja -kieliprofiilin välissä lämmityselementtien lämpöteho siirtyy lumeen ja jäähän osittain säteilemällä. Lämpösäteily on ainoa suora lämpövirta lämmityselementistä lumeen. Jos lunta on paljon tai kieliprofiili painaa edellään lunta tukikiskoa vasten, saattaa lämpöenergia siirtyä lämmityselementistä lumeen suoraan johtumalla, mutta heti, kun lumi sulaa, estää lumen ja lämmityselementin väliin mennyt ilma johtumisen. kuva 11. (Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16.3)



KUVA 11 Lämmityselementtien lämpösäteily

Kuvassa 11 on esitetty tukikiskon lämpöelementin sijoittelu, sekä lämpösäteilyn suuntautuminen. Kuvan perusteella voidaan arvioida, että tukikiskoon sijoitetun lämmityselementin pinta-alasta puolet säteilee tukikiskon ja kieliprofiilin väliin.

Kappaleen lähettämän lämpösäteilyn kokonaisteho  $P$  on riippuvainen säteilevän kappaleen pinta-alasta  $A$ , kappaleen emissiivisyydestä  $\varepsilon$  ja kappaleen pinnan lämpötilasta  $T$  yhtälön 4 mukaisesti. Tekijöiden verrannollisuuskerroin on nimeltään Stefan-Boltzmannin vakio  $\sigma$ , joka on  $5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ . Lämpösäteilyä tuottamaksi pinta-alaksi oletetaan  $0,0195 \text{ m}^2$ . Yhtälössä ilmoitetaan kappaleen pintalämpötila asteen kelvineinä. (Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16.3)

$$P = \varepsilon \sigma A T^4$$

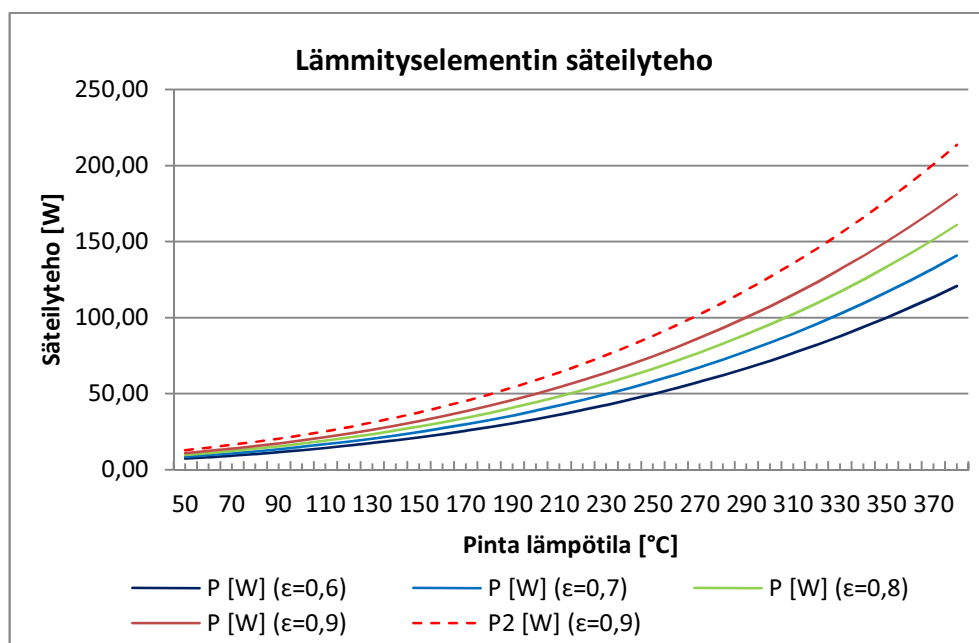
Yhtälö 4

Lämmityselementtien toimittajalta saatujen tietojen perusteella, elementin pintalämpötila on maksimissaan 380 °C. Kentällä tehtyjen mittausten perusteella elementin pintalämpötilat liikkuvat 100 – 250 °C välissä.

(Ala-Korpela R, Haastattelu 28.4.2014)

Lämmityselementtien emissiivisyydestä ei ole saatavavilla tietoa. Tarkasteltaessa käytössä olevia lämmityselementtien pintaa voidaan todeta, että pinta on matta, hieman ruosteenomainen. Uusien elementtien pinta on kirkkaampi ja muistuttaa ruostumattoman teräksen pintaa. Lämmityselementtien pinnan emissiivisyyden voidaan olettaa olevan 0,6 – 0,9.

(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16.3; Tekniikan kaavasto)



**KUVIO 4** 1,0 m pituisen nimellisteholtaan 2 300 W lämmityselementin lämpösäteilyn teho elementin pintalämpötilan funktiona

Kuvion 4 perusteella voidaan päätellä, että lämpöelementtien säteilyteho on varsin huono, verrattuna lämmityselementin sähköiseen tehoon. Lämmityselementin pintalämpötilan pitää ylittää 290 °C lämpötila, ennen kuin 1,0 m pituisen lämmityselementin säteilyteho ylittää 100 W. Tässäkin tapauksessa elementin emissiivisyyden pitää olla 0,9. Lämpökamera mittauksissa on todettu, että lämpöelementin pintalämpötila on 150 °C – 200 °C, jolloin säteilevän lämpöenergian teho 1,0 m matkalla on 20 W ja 70 W välillä. (Ala-Korpela R, Haastattelu 28.4.2014)

Kuviossa 4 on esitetty, vertailun vuoksi, pinta-alaltaan suurimman lämmityselementin säteilyteho  $P_2$  emissiivisyys kertoimella 0,9. Kuvaajasta voidaan huomata, kuinka lämmityselementin pinta-alan kasvu  $0,039 \text{ m}^2$   $0,046 \text{ m}^2$  nostaa säteilytehoa selkeästi.

### 5.1.1 Lumen absorboima lämpösäteily

Lämpöenergian siirtyminen lämpösäteilynä on riippuvainen myös säteilyn kohteena olevasta kappaleesta. Lämpösäteilyn kohteena olevan aineen kykyä absorboida lämpösäteilyä kuvataan absorptiosuhteella  $\alpha$ .

(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16.3)

Lumen kyky absorboida, eli sitoa, lämpösäteilyä on hyvin riippuvainen lumen lämpötilasta ja koostumuksesta. Kylmä lumi, jossa on pinnassa jääkiteitä absorboi erittäin huonosti lämpösäteilyä ja sen absorboitumiskerroin on noin 0,15. Lumi myös heijastaa lämpösäteilyä, jolloin lämpösäteilyn lämpövirta hajoaa, eikä absorboidukaan lumeen. Lumen sulaessa muodostuu sen pinnalle pieni vesikerros. Vesikerros nostaa lumen absorboitumissuhdetta, jopa 0,6, jolloin lumeen absorboituu neljä kertaa enemmän lämpösäteilyn energiaa kuin jäiseen lumeen. Kuitenkin tässäkin tilanteessa vain 60 % lumeen kohdistuneesta lämpöenergiasta sitoutuu lumeen.

(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16.3; Oulun yliopisto: Lumen teknisiä ominaisuuksia)

Jos lumi on likaista, absorboi pinnan epäpuhtaudet lämpösäteilyä huomattavasti paremmin, jolloin lumeen sitoutuu enemmän lämpösäteilyn energiaa. Usein kuitenkin epäpuhtauksien pinta-ala on pieni, jolloin absorboituvan energian määrä jää pieneksi. Tämä ilmiö ei myöskään näy vastasataneen lumen kohdalla, joka on puhdasta.

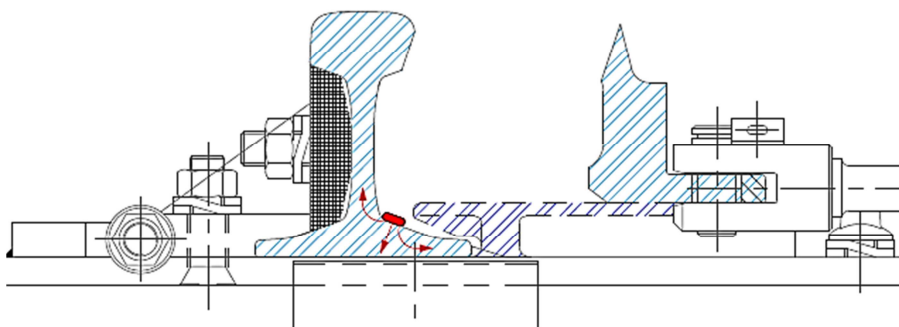
(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16.3; Oulun yliopisto: Lumen teknisiä ominaisuuksia)

Kokonaisuutena voidaan todeta, että lämmityselementin tuottama lämpösäteily ei ole kovin suuri tehoista verrattuna elementin sähköiseen tehoon. Samoin vain pieni osa lämpösäteilystä kohdistuu kieliprofiilin ja tukikiskon välissä olevaan lumeen ja tästä säteilystä vain pieni osa absorboituu lumeen.

## 5.2 Lämpöenergian siirtyminen johtumalla

Lämmön johtumisella tarkoitetaan kahden aineen välissä syntyvää lämpövirtaa ja sen mukana siirtyvää lämpöenergiaa. Lämpövirta on sitä suurempi, mitä lähempänä materiaalit ovat toisiaan, mitä suuremmalta pinta-alalta aineet ovat kosketuksissa ja mitä parempi lämmön johtavuus on väliaineessa. Rautatievaihteessa lämmityselementti on kiinnitetty tukikiskon jalkaan, josta osa sen energiasta johtuu tukikiskoon, kuva 12.

(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16.2)

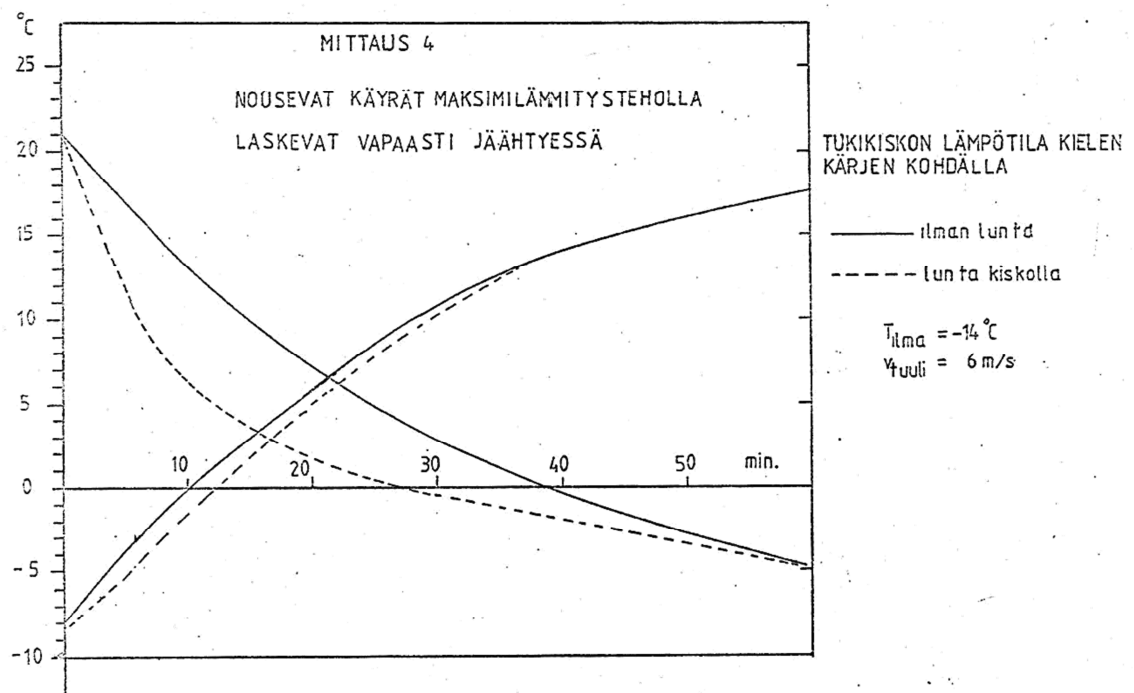


KUVA 12 Lämmön johtuminen lämmityselementistä tukikiskoon

Lämmityselementin kohdalla lämpöenergian johtuminen lämmityselementistä kiskoon on parempi, jos lämmityselementti on tukevasti kiinni kiskon jalassa ja välissä ei ole likaa, joka toimii eristeenä. Pahimmassa tapauksessa lämmityselementti on irti kiskosta, jolloin eristeaineena toimii ilma, joka käytännössä estää lämmön johtumisen. Koska lämmityselementin ja tukikiskon välin lämmönjohtavuutta ei tunneta, ei lämmityselementistä siirtyvää lämpövirtaa voida suoraan laskea.

Lämpövirran suuruutta voidaan arvioida Antti-Jussi Savelan tekemien kokeiden perusteella. Savela on mitannut YV54 tyyppisen vaihteen tukikiskon lämpötilan muutosta talviolosuhteissa. Vaihte on varustettu tukikiskon lämmityselementeillä ja siihen asennettu kokonaislämmitysteho on ollut 8,0 kW. Koe on tehty rautatiehallituksen sisäisenä tutkimuksena vuonna 1980. Savelan raportin liitteinä on tutkittavan vaihteen tukikiskon lämpötilan muutos ajan funktiona, kun lumensulatus järjestelmä on kytketty päälle. Kuvaaja on esitetty kuvassa 13.

(Savela A-J: Rautatievaihteiden lumenpoistolaitteiden rakenteen ja käytön optimointi)



KUVA 13 Rautatiehallituksen lumensulatuksen optimointia käsitelleen raportin liite 3.1

Kuvan 13 perusteella voidaan päätellä, että tukikiskon lämpötila on ollut noin  $-8^{\circ}\text{C}$ , kun lumensulatusjärjestelmä on kytketty päälle. Kiskon lämpötila nousee kahdeksan asteen celsiusta nollaan asteen celsiukseen 10 min lämmityksen aikana. Ensimmäisen 10 min ajan tukikiskonlämpötilan muutos on lähes suoraviivaista, jolloin kiskoa lämmittävä teho voidaan laskea yhtälön 1 avulla.

Savela on ilmoittanut raportissaan tukikiskon kiskopainoksi  $54,43 \text{ kg/m}$ . Rautatietiekisko on terästä ja sen hiiliprosentti on hieman yli 1 %. Tukikiskon ominaislämpökapasiteetiksi oletetaan  $473 \text{ J/kgK}$ . Mittaus on tehty vaihteenkielen kärjen kohdalta, jossa lämmityselementtinä on nimellisteholtaan  $2\,300 \text{ W}$  lämmityselementti. Elementin pituus on  $3\,875 \text{ mm}$  ja laskennallinen metriteho  $593,5 \text{ W/m}$ .

(Savela A-J: Rautatievaihteiden lumenpoistolaitteiden rakenteen ja käytön optimointi; Livi: B17; Tekniikan kaavasto; Mäkinen E: Haastattelu 9.5.2014)

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \Rightarrow Q_{\text{lämpeneminen}} = mc\Delta T$$

$$Q_{\text{Kisko}} = 54,43 \text{ kg} \cdot 473 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 10 \text{ K} = 206,0 \text{ kJ} = 57,2 \text{ Wh}$$

$$P_{\text{Kisko}} = \frac{57,2 \text{ Wh}}{10/60 \text{ h}} = 343,2 \text{ W}$$

Savelan raportin liitteen 3 muista kuvaajista laskettaessa kiskoon siirtyvä lämmitysteho vaihtelee 320 W ja 365 W välillä. Kuvaajat eivät ole suoraan verrannollisia, koska mittausten olosuhteet vaihtelevat. Kun kiskon lämpötila nousee ympäröivän ilman lämpötilaa korkeammaksi, alkaa siitä siirtyä lämpöä ympäröivään ilmaan. Tämä on kiskon lämpenemistä hidastava ilmiö. Voidaan kuitenkin päätellä, että Savelan mittauksissa tukikiskoon kohdistunut lämpövirta on ollut 350 W yhtä metriä kohden. (Savela A-J: Rautatievaihteiden lumenpoistolaitteiden rakenteen ja käytön optimointi; Mäkinen E: Haastattelu 9.5.2014)

Lämmönjohtumista lämmityselementistä kiskoon voidaan myös tarkastella lämmityselementin ja tukikiskon välisen lämmönsiirtymiskertoimen perusteella. Lämmityselementin toimittajalta saatujen tietojen mukaan lämmityselementin lämpötila nousee 380 °C vapaasti ilmassa lämmitettäessä. Tämän perusteella voidaan laskea lämmityselementin kuoren lämmönsiirtymiskerroin  $h$  yhtälön 5 avulla. Yhtälössä  $\Phi$  on lämpövirta,  $A$  on lämpölähteen pinta-ala ja  $\Theta$  lämpölähteen ja ympäristön lämpötila-ero. (Ala-Korpela R: haastattelu 28.4.2014; Mäkinen E: Haastattelu 9.5.2014)

$$\Phi = hA\Theta \Rightarrow h = \frac{\Phi}{A\Theta} \quad \text{Yhtälö 5}$$

$$h_{2300\text{W}-0^\circ\text{C}} = \frac{2300 \text{ W}}{0,17 \text{ m}^2 \cdot 380 \text{ K}} = 35,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Laskentaesimerkissä oletetaan, että lämmityselementti saavuttaa 380 °C lämpötilan, kun ympäristön lämpötila on 0 °C. Lämmityselementin pinta-ala on laskettu erimittaisten, nimellisteholtaan 2 300 W, lämmityselementtien pinta-alan keskiarvona. Teoreettisessa tarkastelussa pinta-alana käytetään 0,17 m<sup>2</sup>. Eri mittausten ja ympärysmittausten

nimellisteholtaan 2 300 W lämmityselementtien lämmönsiirtokertoimen teoreettiseksi maksimiksi saadaan 35,9 W/m<sup>2</sup>K.

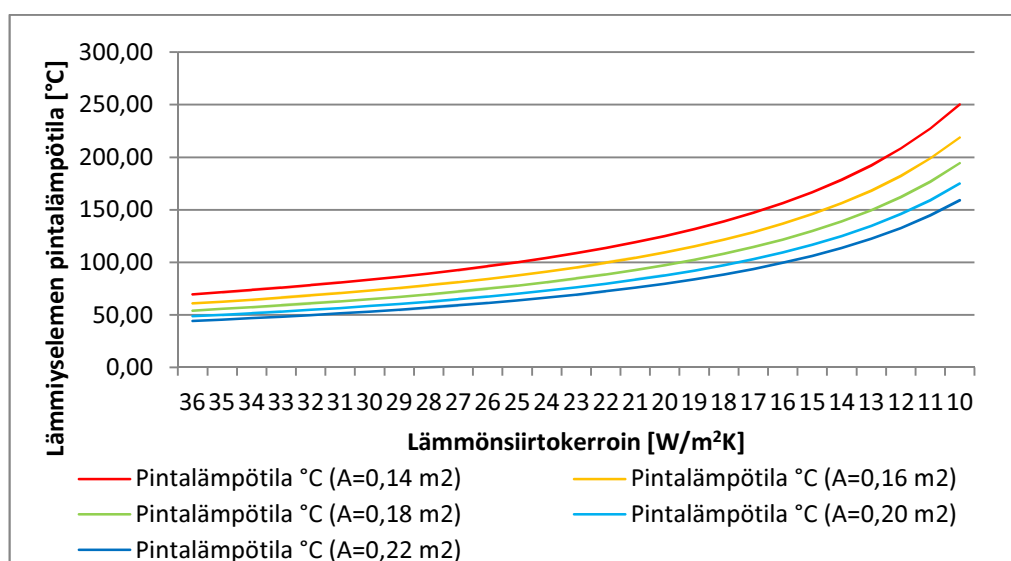
Teoreettisen lämmönsiirtokertoimen määrittelyn tueksi voidaan laskennallisesti arvioida Savelan kokeessa olleiden lämmityselementtien pintalämpötila. Lämpöenergia siirtyy rajapinnan yli yhtälön 5 mukaan.

$$\Phi = hA\Theta \Rightarrow \Theta = \frac{\Phi}{hA} \Rightarrow t_1 = t_2 + \frac{\Phi}{h \cdot A}$$

$$t_2 = 273,15 \text{ K} + \frac{350 \text{ W}}{35,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 0,14 \text{ m}^2} = 336,4 \text{ K} = 63,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Laskentaesimerkistä voidaan päätellä, että lämmityselementin pintalämpötilan on oltava vähintään 65 °C, jotta tukikiskoon johtuva lämmitysteho olisi 350 W. Kuviossa 5 on esitetty lämmityselementin pintalämpötila lämmönsiirtokertoimen funktiona. Tarkastelussa on mukana lämmityselementin ja tukikiskon välinen pinta-ala.

Tarkasteltaessa lämmönsiirtokertoimen vaikutusta elementin lämpötilaan voidaan todeta, että sen vaikutus lämmityselementin ja tukikiskon väliseen lämpövirtaan on sama kuin lämmityselementin ja tukikiskon välisellä pinta-alalla. Kuviosta voidaan myös päätellä, että lämmityselementin ja kiskonvälinen lämmönsiirtymiskerroin on luokkaa 10-25 W/m<sup>2</sup>K.



**KUVIO 5** Lämpöelementin pintalämpötila lämmönsiirtokertoimen funktiona. Kuvaaja esittää 1,0 m lämmityselementin pintalämpötilaa, kun lämpövirta on 350 W.

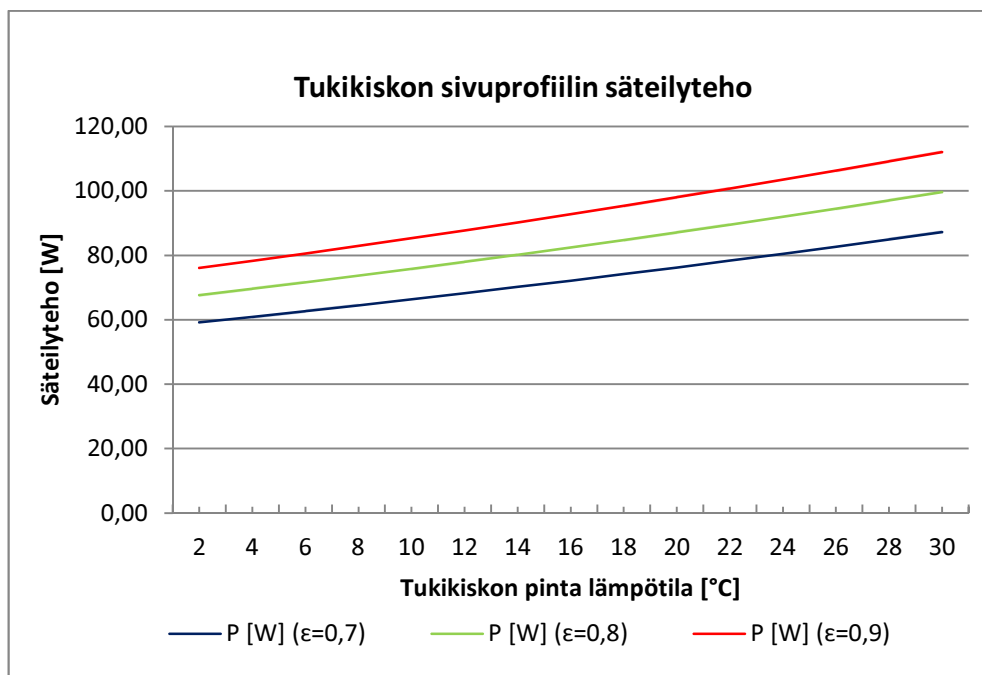


### 5.2.1 Lämmön johtuminen kiskossa

Lämpötilalla on luonnollinen taipumus tasaantua. Lämpö siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan ja samalla se tasoittaa aineessa olevaa lämpötilaeroa. Lämpöelementistä tukikiskoon johtunut lämpövirta levittäytyy tukikiskoon ja kiskon sisäinen lämpövirta kohdistuu aina matalampaa lämpötilaa kohden. Teräs on lämmönjohtavuudeltaan erittäin hyvä ja sen lämpötila pyrkii tasoittumaan nopeasti.

(Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16)

Tarkasteltaessa lämpöelementistä tukikiskoon johtunutta lämpövirtaa on todennäköistä, että suurin lämpövirta nousee kiskon vartta pitkin ylös kohti kiskon kulkupintaa, josta lämpö haihtuu konvektion avulla pois kiskosta. Kiskon vartta pitkin nouseva lämpövirta kohdistuu myös kiskon jalan sivuprofiiliin, jolloin lämpöenergia siirtyy lämpösäteilynä tukikiskon ja kielisovituksen väliin. Tukikiskon sivuprofiili on lämpösäteilyn kannalta hyvä, koska se on mattapintainen ja ruosteinen. Ruosteisen teräksen emissiivisyys on 0,7 – 0,85. (Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16)



KUVIO 6 Tukikiskon sivuprofiilin lämpösäteilyn teho kiskolämpötilan funktiona. Laskenta on tehty 1,0 m profililla ja emissiivisyyksillä 0,7; 0,8 ja 0,9

Kuvion 6 kuvaajan perusteella voidaan päätellä, että tukikiskoon johdetusta lämpövirrasta vain noin 1/3 osa suuntautuu lämpösäteilynä tukikiskon ja kieliprofiilin väliin. Samoin voidaan päätellä, että kiskon sivuprofiilin lämpösäteily on samaa

luokkaa kuin lämmityselementin suoraan vaihteentukikiskon ja –kielen väliin tuottama lämpösäteily. Tulos selittyy kiskon pinnan hyvällä emissiivisyydellä ja lämmityselementtiin verrattuna suurella pinta-alalla.

Osa lämmityselementin tuottamasta lämpövirrasta suuntautuu alas kiskon jalkaan, josta se siirtyy johtumalla ratapölkkyyn tai haihtuu kiskon alapinnasta konvektion avulla. Tätä tukee tieto siitä, että kiskopölkkyjen kuura sulaa vaihteiden kohdalta nopeammin, jolloin osa lumensulatuksen lämpöenergiasta on siirtynyt pölkkyyn. Ratapölkkyjen välissä lämpövirta nostaa kiskonjalan pohjalämpötilaa ja lämpöenergia haihtuu konvektion avulla pois. Koska lämmityselementin ja kiskonpohjan välinen etäisyys on pieni, saattaa kiskon pohjasta haihtuvan lämpövirran suuruus olla merkittävä.

Kolmas lämpövirran suunta on kiskon jalkaa pitkin vaihdelevyyn. Vaihdelevyyn siirtynyt lämpöenergia lämmittää vaihdelevyä ja toimii näin ollen lumensulatuksen kannalta oikein. Vaihdelevyyn siirtyvää lämpövirtaa on lähes mahdoton tarkastella, ilman tarkempia mittauksia, koska vaihdelevyn ja kiskonjalan rajapinnan lämmönjohtavuusominaisuuksia ei ole käytettävissä. Kuvan 14 perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että lämpöenergia siirtyy vaihteen rakenteissa kohtuullisen hyvin, koska vaihdelevyjen ja kiskon kiinnitysten kohdalla lumi on hyvin sulanut. Kuvassa näkyy myös kuinka tukikiskon lämpösäteily on sulattanut lunta raiteen ulkopuolelta.

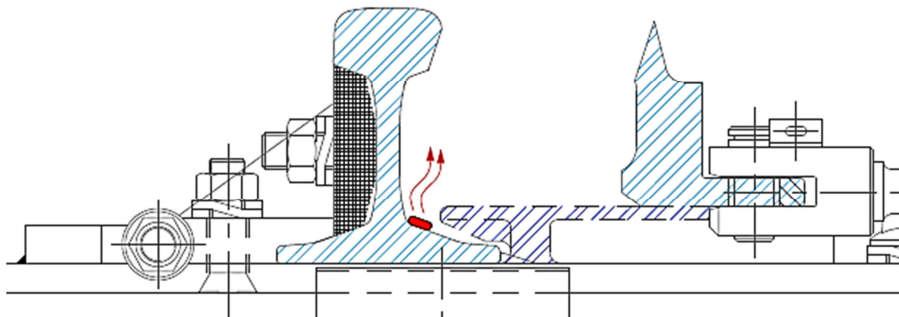


**KUVA 14** Vaihteen ympäriltä sulanut lumi

Kokonaisuutena voidaan arvioida, että tukikiskoon johtuneesta lämpöenergiasta korkeintaan puolet kohdistuu kielisovituksen ja tukikiskon välissä olevaan lumeen. Kuitenkin tukikiskon sivuprofiilin suuri pinta-ala toimii todennäköisesti parempana lämpösäteilyn lähteenä kuin lämpöelementistä suoraan säteilevä lämpöenergia.

### 5.3 Lämmön siirtyminen konvektiolla

Lämmityselementistä konvektion kautta poistuvaa lämpövirtaa ei voida laskennallisesti todentaa, koska konvektioon vaikuttavat muun muassa tuuli ja ilmanlämpötila. Yleisesti konvektiosta on todettu, että sen suuruuteen vaikuttaa pinta-ala ja pintojen välinen lämpötilaero. Mitä suurempi lämpölähde on pinta-alallisesti ja mitä suurempi on sen lämpötila on, sen suurempi konvektion aiheuttama lämpövirta. Konvektioon vaikuttaa myös ilmavirrat ja niiden voimakkuudet. Jos ilma on paikallaan, luonnollinen konvektio on pientä, koska pinnan ympärille syntyy eristävä kerros. Jos taas lämpölähteen ympärillä oleva ilma liikkuu, poistuu eristävä kerros ja konvektion kautta siirtyvä lämpövirta kasvaa. (Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16.1)



KUVA 15 Lämmityselementistä konvektiolla siirtyvä lämpövirta

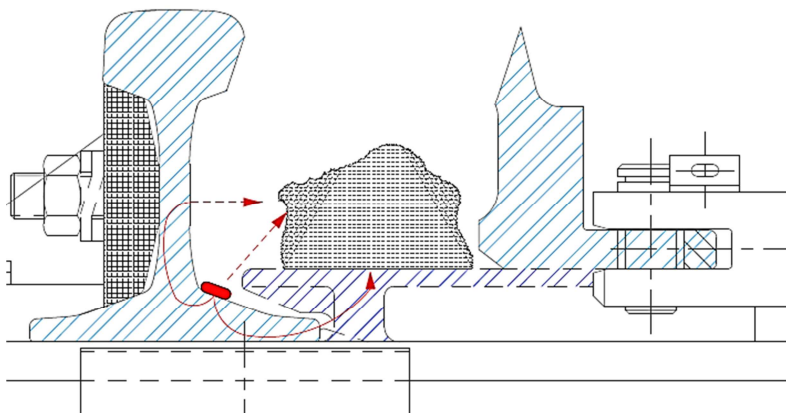
Kuvan 15 ja konvektio ilmiön teoreettisen tarkastelun perusteella voidaan todeta, että konvektion vaikutus tukikiskon ja kielen välissä olevan lumen sulattamiseen on hyvin merkityksetön. Konvektion aiheuttama lämpövirta suuntausuu luonnostaan ylöspäin, jolloin se ei kohtaa lunta. Toinen konvektioon vaikuttava asia on kaluston liikkeen aiheuttama ilmavirta, joka lämmönsiirtymisen näkökulmasta huuhtelee tukikiskon ja vaihteenkielen välissä olevan lämpöisen ilman.

Voidaan siis todeta, että konvektion osuus on suurimmaltaosaltaan hyötysuhdetta pienentävä. Voidaan kuitenkin todeta, että konvektion suuruuteen voidaan vaikuttaa

lämmityselementin pintalämpötilan avulla. Mitä pienempi lämmityselementin ja kiskon pintalämpötila on, sitä pienempi on ympäristön ja elementin välinen lämpötilaero ja sitä pienempi on konvektio. (Inkinen O. Tuohi J: Momentti 1 kappale 16.1)

#### 5.4 Lumeen kohdistuvat lämpövirrat

Tarkastelemalla lämmityselementin muodostamia lämpövirtoja, jotka kohdistuvat lumeen kielisovituksen ja tukikiskon välissä, voidaan todeta ne jakaantuvat kolmeen osaan. Yksiosa siirtyy lämpösäteilynä suoraan elementistä, yksiosa johtuu kiskoon ja säteilee kiskon sivuprofilista kielisovituksen ja tukikiskon väliin ja yksiosa siirtyy vaihdelevyyneen ja siirtyy sitä kautta suoraan lumeen. Lämpövirrat on esitetty kuvassa 16.



KUVA 16 Lämmityselementistä lumeen kohdistuvat lämpövirrat

Jos tarkastellaan 1,0 m pituista tukikiskoa, jossa on nimellisteholtaan 2 300 W tukikiskon lämmityselementti, jonka metri teho on 515 W/m. Lämmityselementin oletetaan saavuttavan 150 °C pinta lämpötilan ja tukikisko on saavuttanut 10 °C lämpötilan. Tässä tapauksessa lämmityselementin suoraan tuottama lämpösäteily teho on 20 – 35 W ja tukikiskon lumeen kohdistuva lämpösäteily noin 80W.

Tarkasteluun pitää lisätä vaihdelevyihin johtuneen lämpövirran tarkastelu. Tukikiskon ja vaihdelevyn, sekä lämpöelementin ja vaihdelevyn välisiä lämpövirtoja ei tässä työssä kyetä määrittämään. Voidaan kuitenkin olettaa, että lämpövirta ei ole suuri, koska pinta-alat ja lämpötilaerot ovat pieniä. Varsinkin lämmityselementin ja vaihdelevyn väli on likainen, jolloin energian siirtyminen on huonoa.

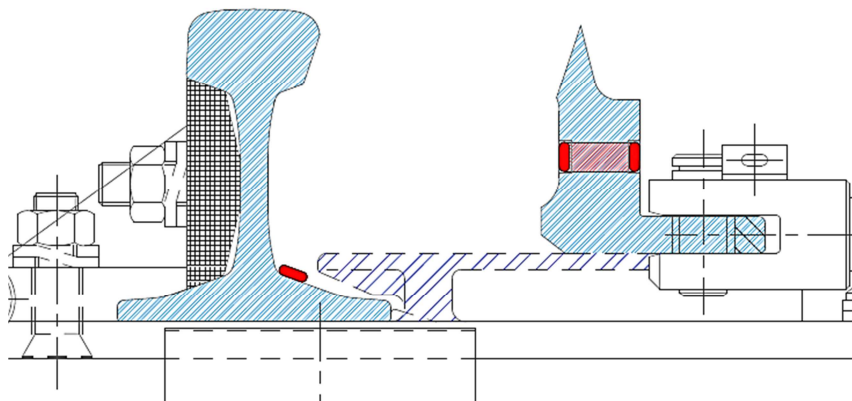
Voidaan siis arvioida, että lämmityselementin tuottamasta 515 W lämmitystehosta, lumeen kohdistuu parhaassakin tapauksessa vain 150 W lämpöteho. Kun tarkasteluun lisätään lumen huono kyky absorboida lämpösäteilyä voidaan karkeasti arvioida, että lämmityselementin tuottamasta lämpötehosta 25 – 40 % todella sulattaa lunta. Arvio on lähempänä perusteltua arvausta, kuin aukotonta tiedettä. Kuitenkin sen pohjalla olevat lämmön siirtymisen ja lumen ominaisuuksiin liittyvät seikat tukevat sitä, että hyötysuhde on erittäin huono.

## 5.5 Kielilämmityksen vaikutus vaihteen lämpövirtoihin

Vaihteen kieleen asennetut lämmityselementit ovat rakenteeltaan ja kiinnitystavaltaan vastaavat kuin tukikiskoon asennetut. Koska Kielisovituksen rakenteesta ei ole käytettävissä kiskopaino tietoja, eikä kielen lämpenemisen kuvaajaa, ei kielisovituksen lämmityselementtien vaikutusta voida matemaattisesti tarkastella. Kuitenkin vaihteenkieleen asennetuissa lämmityselementeissä on yhteneväisyyksiä tukikiskon lämpöelementtien kanssa, jolloin kieliprofiilin elementtien lumensulatuksen tehoa voidaan arvioida.

Kieliprofiilin lämmityselementti asennetaan kielen ulkopuolella ja se kiertää profiilinkärjen kautta tukikiskon ja vaihteen kielisovituksen väliin. Kieliprofiilin lämmityselementtiä varten on kieleen tehty ura johon elementti asennetaan.

(Livi; B17)



KUVA 17 Tuki- ja kieliprofiilin lämmityselementeillä varustettuun kiskon lämmityselementtien sijoittelu

Vaihteenkieleen asennetut lämmityselementit aiheuttavat kieleen hyvin saman tyyppisiä lämpövirtoja, kuin vaihteen tukikiskoon asennettu lämmityselementti. Suurimpana

erona, on vaihteen kielen pienempi massa, jolloin kielen lämpötila nousee nopeammin kuin tukikiskon lämpötila. Toisaalta kielessä ei ole mitään lämpösuojaa tai eristettä, jolloin konvektion osuus on suurempi. Samoin kielen ulkopinnalla lämpösäteily on suurelta osin hukkalämpöä, koska vaihdelevyihin johtuva lämpö pitää vaihdelevyt lämpimänä ja estää lunta jäätymästä siihen.

Koska vaihteen lumensulatuksen kannalta lämpösäteily on tehoton tapa sulattaa lunta, on todennäköisintä, että kielilämmityksen suurin hyöty saavutetaan lämpövirrasta, joka kohdistuu kielestä vaihdelevyyn, jota pitkin se johtaa lämpöenergiaa lumeen.

Vaihteen kieliprofiilin lämmityselementtien lämpövirrat eivät todennäköisesti kohdistu tukikiskoon. Pieni osa saattaa siirtyä säteilemällä, jos vaihteen kielisovituksen ja tukikiskon väli on täysin auki. Teho on kuitenkin hyvin pieni ja edellyttää, että välissä ollut lumi on jo sulatettu. Vaihdelevyn kautta johtuva lämpövirta on pienten pintalämpötilojen ja kosketuspintojen vuoksi huono. Vaihteenkielestä johtumalla siirtyvää lämpövirtaa pienentää myös vaihdelevyn rasva.

Voidaan siis päätellä, että vaihteenkielisovituksen lämpöelementtien lumensulatuksen hyötysuhde on tukikiskon hyötysuhdetta heikompi. Tilanteissa, joissa vaihde on täysin tukossa tai vaihteeseen putoaa jäälohkare, saattaa kielisovituksen lämmitys olla perusteltua, mutta normaalissa talvisäässä on kielisovituksen hyötysuhde todennäköisesti erittäin huono. Kielisovituksen hyötysuhteen selvittämiseksi tulisi suorittaa erillinen lämpenemiskoe.

## 6 POHDINTA

Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että Suomessa käytössä oleva vaihteiden lumensulatusjärjestelmä on todelliselta teholtaan huono tai erittäin huono. Suurin syy huonoon hyötysuhteeseen on lämmityselementin sijoituspaikka ja elementin muoto. Toisaalta käytössä olevat ohjausjärjestelmät perustuvat liikenteen ohjaajan arvioon, jolloin varmuuden vuoksi lämmittäminen on yleistä. Kiskolämpötilaan perustuvissa järjestelmissä ongelmaksi muodostuu kiskolämpötilan korkea tavoitelämpötila. Varsinkin syksyisin ja keväisin kiskolämpötilaan perustuvat järjestelmät lämmittävät kiskoa vain sen takia, että sen lämpötila on laskenut, ei sen vuoksi, että vaihteentukikiskon ja kieliprofiilin välissä olisi lunta. Korkea lämpötila lisää vaihteen rakenteesta konvektion avulla ja lämpösäteilynä poistuvaa energian määrää, jolloin järjestelmän hukkalämpö kasvaa.

### 6.1 VAIHTEEN LUMENSULATUKSEN RIITTÄVYYS

Tarkasteltaessa YV60-300-1:9 tyyppisen vaihteen lumensulatuksen riittävyyttä voidaan oletetaan, että järjestelmän tulee sulattaa 30 kg lunta ja siihen asennetun lämmityselementtien tehosta kohdistuu lumensulatukseen parhaassakin tapauksessa 40 %. Vaihteessa, jossa on asennettuna vain tukikiskon lämmityselementit, on vaihteen puolikkaaseen asennettu 4,0 kW lämmitysteho. Kun tästä 40 % kohdistuu lumeen, voidaan päätellä, että lumensulatukseen kohdistuva lämmitysteho on 1,6kW.

(Livi: B17)

YV60-300-1:9 vaihteen lämmityselementtien sijoittelua tarkasteltaessa huomataan, että vaihteen kantaelementit ylettyy koko kielisovituksen matkalle, jolloin osa sen lämpötehosta ei sulata lunta vaihteen kielisovituksen liikkuvalla osalla. Perustetta sille, miksi lämmityselementti on sijoitettu sulattamaan lunta kielisovituksen kiinteältä osalta ei löytynyt. Koska osa lämmitystehosta on sijoitettu alueelle, jossa sitä ei lumensulattamisen vuoksi tarvita, on osa vaihteen kantavastuksen lämmitysenergiasta turhaa. Vaihteen rakennekuvan perusteella voidaan arvioida, että 1/3 osa kantavastuksen tehosta on sulatettavan alueen ulkopuolella. Näin ollen teoreettinen lämmitysteho putoaa 1,4 kW

Kappaleessa 6 lasketun vaihteen lumensulatukseen vaadittavan energiamäärän perusteella voidaan päätellä, että vaihteen auki sulaminen kestää 3,5 - 5 tuntia. Toisaalta 1,4 kW pystyy sulattamaan noin 15 kg lunta tunnissa, joka vastaa noin 6-7 cm/h lumisadetta. Koska lähes kaikki käytössä olevat vaihteet ovat rakenteeltaan samankaltaisia ja niissä on suhteellisesti lähes sama lämmityselementtien teho, voidaan olettaa, että YV60-300-1:9 vaihteen kohdalla tehdyt päätelmät ovat suuntaa antavia myös muiden vaihteiden kohdalla.

Vaihteen lumensulatuksen riittävyyden määrittäminen on poliittinen kysymys. Mihin vedetään lumisateen tiheyden raja, josta lumensulatusjärjestelmän tulee selviytyä? Oma mielipide on, että Suomessa rautatievaihteisiin asennettu lämmitysteho on riittävä, mutta se kohdistuu huonosti lumeen ja ohjaukseltaan tehoa hukkaava.

#### **6.1.1 Lumen määrän vähentäminen vaihteessa**

Tarkasteltaessa lumensulatuksen riittävyyttä tulisi huomioida myös vaihteeseen pääsevän lumen määrä. Energiankäytön kannalta paras ratkaisu olisi suojata vaihdealueet katoksella, joka estäisi lumenpääsyn vaihteeseen. Toinen vaihtoehto olisi lumi ja tuuliseinien rakentaminen, jolloin tuiskulumi ei kulkeudu vaihteeseen niin helposti.

Vaihteeseen pääsevän lumen estäminen tai vähentäminen johtaa suoraan sulatustarpeen vähenemiseen, mutta ei suoraan energian säästöön. Vaihteiden kattamisen yhteydessä on lumensulatusjärjestelmän ohjausta muutettava, jotta energiaa säästyy. Suoraan kiskolämpötilaan perustuva ohjausjärjestelmä ei tule säästämään energiaa vaikka vaihdealue katettaisiin. Oikean lumensulatuksen ohjausjärjestelmän säätöpiirin määrittäminen vaatii lisää tutkimista.

#### **6.1.2 Lumensulatuksen lämmitysenergian lasku**

Vaihteen lumensulatuksen lämmitysenergian tehostaminen johtaa vääjäämättä tilanteeseen, jossa sulanut vesi valuu raiteelle ja jäätyy paannejääksi. Esimerkiksi kuvassa 18 näkyy kuinka sulanut vesi on jäänyt ratapölliin ja aiheuttaa paannejäää, joka estää vaihteen kielen liikkeen. Kuvassa näkyy hyvin kuinka lumi on sulanut



metallipinnoilta, mutta sulaminen on pysähtynyt, kun lämmön siirtyminen on vaihtunut johtumisesta lämpösäteilyyn.



**KUVA 18** Paannejäää vaihteen kielessä vaihteen keskettimen kohdalla

Kuvan 18 tilanne on hankala, koska paannejäää muodostuu luonnostaan paikkoihin, jonne lämpö ei johdu ja lämpösäteilyn teho on hyvin heikko. Ongelman ratkaisu lämmityselementtien avulla on hankalaa, ja siksi olisi perusteltua kokeilla erillisiä matalatehoisia saattolämmityksiä, jotka ovat irti vaihteen rakenteesta. Samoin lumensulatuksen muodostama vesi tulisi johtaa pois vaihteelta ja tämä tulisi huomioida vaihteen rakenteessa.

## **6.2 Lumensulatusjärjestelmän ohjauksen asetusarvot**

Vaihteenlämmityksen teknisten vaatimusten asetusarvot vaihdekohtaiselle lumensulatuksen säädölle on osittain perustellut. Tukikiskon  $+10\text{ °C}$  perusvaatimus takaa sen, että tukikiskon lämpösäteily on kohtuullisen lumensulatuksen. Toisaalta vaatimus pitää lämmitystehon korkealla, koska kiskolämpötila pitää aina nostaa  $+5\text{ °C}$  asteesta, jolloin ulkoilman termostaatti kytkee järjestelmän päälle.

Kiskolämpötilaan perustuvien lumensulatusjärjestelmien säätöpiirit on hyvin perusteltua erottaa vaihteen puolien osalta omiksi piireiksi. Tilanteessa, jossa kiskolämpötilan anturi on auki olevalla vaihteen puoliskolla, nousee kiinni olevan puolen lämpötila turhan korkealle ja käytännössä polttaa vaihdelevyjien rasvan. Lämpötilan kohoaminen kasvattaa myös konvektion ja lämpösäteilyn aiheuttamaa lämpöenergian hukkaa. Toisaalta anturin ollessa kiinni olevalla puolella nousee lämpötila nopeasti, jolloin auki olevan puolen lämpötila saattaa jäädä hyvin alhaiseksi. Käytännön kokemusten

mukaan vaihteen puoliskojen välinen lämpötila ero voi olla 5 – 7 °C. Kiskolämpötilan käyttö ohjauksen säätöpiirin takaisinkytkentänä ei täysin ole perusteltua, mutta huomioiden vaihteenrakenteen on se yksi parhaista vaihtoehtoista.

Tehostetun lämmityksen asetteluarvo on määritelty +40 °C. Tavoite arvo on mahdoton. Savelan tekemien mittausten perusteella kiskon lämpötila tasaantuu 20-25 °C välille. +40 °C lämpötilan asetusarvo aiheuttaa vaihdelevyn rasvan palamisen ja haittaa tätä kautta vaihteen toimintaa. Asettelu arvon perusteltu arvo on noin +15 °C. Samoin tehostetun lämmityksen tarpeellisuutta tulisi tarkastella. Tarkastelussa tulee huomioida kalustosta putoavan jään vaikutus.

### **6.3 Nykyisiin järjestelmiin tehtävät parannukset**

Kiskolämpötilan tavoitearvon laskeminen on nopein tapa säästää vaihteiden lumensulatukseen kuluva energiaa. Vanhojen järjestelmien kiskolämpötilan pudotus 7-8 °C välille alentaa kaikkia vaihteen pintalämpötiloja ja on oletettavaa, että vaihteenlumensulatusjärjestelmän hyötysuhde paranee. Toisaalta kiskon päälle satanut lumi laskee kiskonlämpötilaa, jolloin kiskolämpötilaan perustuvat järjestelmät lisää tehoa. Normaalin tavoitelämpötilan avuksi tehostelun lämpötilan tavoitearvo on perusteltua asettaa noin +15 °C:n ja pidentää tehostelun käytön kello 3-4 tuntiin. Tämä auttaa vaihteen puoliskoiden lämpöeron tasaamisessa, mutta ei polta kiinni olevan puolen vaihdelevyn rasvaa. Kaksi säätöpiirisissä vaihteissa kiskolämpötilan asetusarvo on perusteltua laskea +3 - +5 °C välille.

Ulkoilman termostaatin asetteluarvolle +5 °C ei ole suoraa perustetta. Korkea arvo aiheuttaa tilanteen, jossa syys- ja kevätkausina lumensulatusjärjestelmä kytkeytyy päälle ilman tarvetta ja kiskoa lämmitetään vain sen takia, että sen kiskontavoitelämpötila on ilmanlämpötilaa korkeampi. Ulkoilman termostaatin asetteluarvon määrittäminen tulisi tehdä paikkakohtaisesti.

Vaihdelevyjen rasvaus likaa lämmityselementtien ja vaihdelevyjen välin, kuten kuvasta 19 voidaan havaita. Lika muodostaa lämmityselementin pinnalle eristävän kerroksen, joka estää lämmönsiirtymisen ja lämpösäteilyn.



**KUVA 19** Vaihdelevyn likaama lämmityselementti

Vaihdelevyjen rasvaus on välttämätöntä, mutta lämmityselementin kiinnitysklemmarit muuttaminen suuremmiksi ja kotelomaisiksi on perusteltua. Kotelo parantaisi lämmön johtavuutta kiskoon ja sitä kautta lumeen ja vaihdelevyyn. Kotelon pintamateriaalin valinnoilla ja muodolla voidaan vaikuttaa siihen paljonko kuoresta siirtyy lämpösäteilynä energiaa.

#### **6.4 Lumen ominaisuuksia muuttaminen**

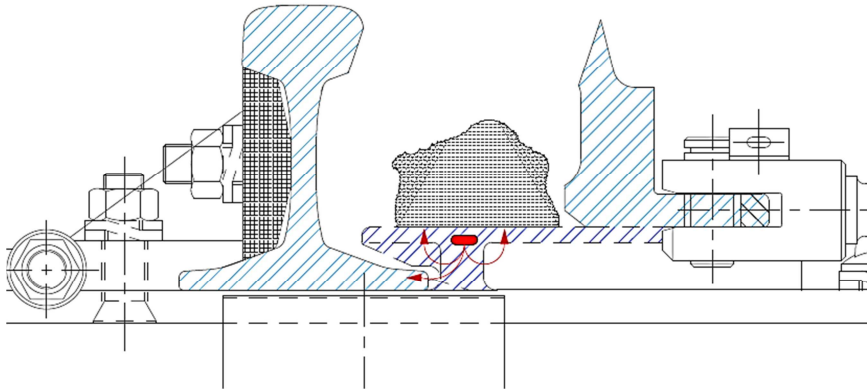
Lumi on absorboi luonnostaan huonosti lämpösäteilyä. Kuitenkin lumessa oleva lika imee hyvin lämpösäteilyä. Perusteltua on tutkia lian vaikutusta lumeen. Esimerkiksi tuhalla tai vastaavalla hyvän absorboitumiskertoimen omaavalla aineella vaihteessa olevan lumen likaaminen todennäköisesti parantaa lumen sulamista.

Talvikauden lopussa ja keväällä alkaa auringon säteily muodostaa merkittävän säteilylämmön lähteen. Vaihteen likainen lumi imee myös auringon energiaa paremmin, jolloin auringon lämpösäteily toimii lumensulatusjärjestelmän tukena.

#### **6.5 Teoreettisesti paras lämmityselementin sijoituspaikka**

Teoreettisesti tarkasteltuna lämmityselementin tuottama lämpövirta on helpointa hyödyntää vaihteen lumensulatukseen, kun suurin osa lämpövirrasta kulkee johtumalla. Samoin teoreettisesti tarkasteltuna vaihteen rakenteiden mahdollisimman pieni

pintalämpötila vähentää konvektion ja väärään suuntaan kohdistuvan lämpösäteilyn määrää. Tällöin on perustelua esittää, että paras lämmityselementin sijoituspaikka on vaihdelevyyn koteloituna, jolloin lämmityselementin aiheuttama lämpövirta johtuu vaihdelevyyn ja siitä suoraan lumeen. Kuvassa 20 on esitetty tämä työn perusteella teoreettisesti lämmityselementin sijoituspaikka vaihteessa.



**KUVA 20 Lämmityselementin optimaalisin sijoituspaikka**

Lämmityselementin sijoituksen yhteydessä tulee määrittää myös ohjausjärjestelmän takaisinkytkennän sijoituspaikka. Tilanteessa, jossa lämmityselementti on sijoitettu vaihdelevyyn, kiskolämpötilan tavoitearvolla voida ohjausjärjestelmän säätöpiiriä ohjata. Ohjauksen tulisi perustua vaihdelevyn lämpötilaan ja sen tavoitearvoon. Tässä tilanteessa myös vaihteen rasvauksen tuoma lika ei pääse kosketuksiin lämmityselementin kanssa ja toisaalta vaihdelevyn pintalämpötila ei nouse niin korkealle, että rasva palaisi.

## LÄHTEET

Ala-Korpela, R., Sähkötöidenjohtaja VR Track Oy, 2014. Haastattelu 28.4.2014. Haastattelijana M Korpela. Tampere.

Fagerholm, K., 2013. Uutta ajattelua vaihteenlämmitykseen. Rautatietekniikka 2/2013, 34-35.

Granlung, M., 2010. Rautatievaihteiden lumensulatus maalämmöllä. Liikenteensuunta 2/2010, 44-45.

Holmberg, K. 1974. Sähkölämmitys ja paineilmapuhallus vaihteiden lumenpoistossa sähköistetyin radan ratapihalla. Teknisen korkeakoulun rakennusinsinöörin osasto. Helsinki.

Inkinen, O., Tuohi, J., 2002. Momentti 1 Insinöörifysiikka. Keuruu: Otava .

Katajala, M., Onko monimutkaistuva rautatieympäristö uhka turvallisuudelle. 2009. Rata 2010 seminaari 2010.

[Http://www.safetyadvisor.fi/Download/Matti\\_Katajala\\_RATA2010.pdf](http://www.safetyadvisor.fi/Download/Matti_Katajala_RATA2010.pdf)

Kontkanen, M. 2010. Energiansäästöä ratapihoilla. Liikenteensuunta 2/2010, 42-43.

Tekniikan Kaavasto, 2000. Tammertekniikka. Jyväskylä: Gummerus.

Liikenneviraston ohjeita 22/2012. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 4 vaihteet. 2012. Helsinki.

Liikenneviraston ohjeita 7/2013. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 14 vaihteiden tarkastus ja kunnossapito. 2013. Helsinki.

Liikenneviraston tilastoja 9/2013. Suomen rautatietilastot 2013. 2013. Liikennevirasto. Helsinki.

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 16/2012. Rautatieliikenteen täsmällisyys 2011. 2012. Liikennevirasto. Helsinki.

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 10/2013. Lumen ja jään kertymisen estäminen. 2013. Helsinki.

Liikenneviraston väylätietoa 5/2013. Rataverkon kuvaus 1.1.2014. 2013. Helsinki.

Mäkinen, E., Lehtori Tampereen ammattikorkeakoulu. 2014. Haastattelu 9.5.2014. Haastattelija M Korpela. Tampere.

Railway application -Track-Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above EN13674-1

Ratahallintokeskus, 2002. Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Radan päällysrakenne 921/731/02. 2002

Ratahallintokeskus, 2006. Vaihteenlämmityksen tekniset määreet B17. 2006. Helsinki.

Rautatielaki, 304/2011. 2011. Helsinki.

Oulun Yliopisto. Lumen teknisiä ominaisuuksia. Luettu 15.1.2014.

[http://ace.ulapland.fi/talvitaide/oppimateriaalia/lumimateriaali\\_nettti.pdf](http://ace.ulapland.fi/talvitaide/oppimateriaalia/lumimateriaali_nettti.pdf)

Savela, A-J. 1980. Rautatievaihteiden lumenpoistolaitteiden rakenteen ja käytön optimointi. Rautatiehallitus. 1980. Helsinki.

Suomen rautateiden turvallisuuden vuosikatsaus 2013. 2013. Trafi. Helsinki.

Teerihalme, H., 2011. Radanpidon sähkönkulutus ja energiansäästöpotentialiaali. Liikennevirasto 2011.

Yle Tampere. Toijalan turman syynä vaihdevika. Luettu 15.1.2014.

[http://yle.fi/uutiset/toijalan\\_turman\\_syyna\\_vaihdevika/5271644](http://yle.fi/uutiset/toijalan_turman_syyna_vaihdevika/5271644)

Yle Kotimaa. Vammalan junaturman syy: vaihde kääntyi junan alla ja suisti 13 vaunua raiteilta. Luettu 15.1.2014.

[http://yle.fi/uutiset/vammalan\\_junaturman\\_syy\\_vaihde\\_kaantyi\\_junan\\_alla\\_ja\\_suisti\\_13\\_vaunua\\_raiteilta/7101260](http://yle.fi/uutiset/vammalan_junaturman_syy_vaihde_kaantyi_junan_alla_ja_suisti_13_vaunua_raiteilta/7101260)